

工學碩士 學位論文

구배로에서의 最適 運轉法에 관한
計算的 考察

**Computational Consideration about Optimal
Driving Method of a Slope Road**

指導教授 朴 權 夏

2003年 2月

韓國海洋大學校 大學院

機 械 工 學 科

趙 賢 哲

趙賢哲의 工學碩士 學位論文을 認准함

委 員 長 工學 博士 崔 在 星 ①인

委 員 工學 博士 金 煥 成 ①인

委 員 工學 博士 朴 權 夏 ①인

2003年 2月

韓國海洋大學校 大學院

機 械 工 學 科

趙 賢 哲

目 次

ABSTRACT

I. 序論

1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	3

II. 車輛의 燃比와 燃比에 미치는 影響

2.1 휘발유 승용차의 차속별 대기 오염 물질 배출량 및 연비.....	5
2.2 차량 운전자가 느끼는 실제 연비.....	7
2.2.1 승용차 연비 간이 실측 시험 조사.....	7
2.2.2 고속화 도로의 소비자 연비.....	8
2.3 차량 연비에 영향을 미치는 요소.....	9
2.3.1 가속페달 사용이 연비에 미치는 영향.....	9
2.3.2 급가·감속이 연비에 미치는 영향.....	10
2.3.3 기어 변속 및 평균 부하량에 의한 영향.....	12
2.3.4 타이어 공기압에 의한 영향.....	12
2.3.5 주행 속도에 의한 영향.....	13
2.3.6 차량 중량에 의한 영향.....	13
2.3.7 소모 에너지 이용이 연비에 미치는 영향.....	13

III. 實驗裝置 제원 및 Simulation 條件

3.1 실험 장치.....	15
3.2 실험장치 및 제원	17
3.3 부하 변동에 따른 배기 가스와 연료 소모율의 영향.....	22

IV. 數學的 모델 및 解析 알고리즘

4.1 차량 주행 저항과 엔진 토크와 RPM의 관계.....	28
4.2 연료 공급의 제어 특성.....	31
4.3 해석 알고리즘	34
4.4 적용모드의 종류	38

V. 結果 및 分析

5.1 계산 결과.....	40
5.1.1 주행 모드 -1	40
5.1.2 주행 모드 -2	45
5.1.3 주행 모드 -3	48
5.1.4 주행 모드 -4	52
5.1.5 주행 모드 -5	55
5.1.6 주행 모드 -6	59

5.1.7 주행 모드 -7	62
5.2 고찰.....	67
VI. 구배로에서의 최적 운전법	75
VII. 結論	81
參考文獻	83

ABSTRACT

Computation Consideration about Optimal Driving Method of a Slope Road

Hyun-Chul Cho

Department of Mechanical Engineering, Graduate School

Korea Maritime National University

Busan, Korea

(Supervised by Professor Kweonha Park)

An automobile industry was rapidly grown up in the past century.

The development brought many serious problems due to the increasing number of cars. Particularly, the exhaust emissions take many serious causes of global pollution and global warming.

The reduction of the gases on required urgently, but it has a limitation by in-cylinder or post-processing technologies. The only way to reduce is to reduce the amount the fossil fuel used.

In order to reduce the emissions the mechanical development is very important in the automobile industry, but driving test is also emphasized at

the same time.

The drivers have their own driving habits because a systematic driving mode is not developed yet.

Some drivers have a rapid accelerating habit, and some others have a slow accelerating habit. Those driving modes will take much fuel consumption.

In this thesis, the calculation code is developed to find optimum driving mode in a slope road , and the fuel consumption rates from 7 different driving modes are compared.

The result shows that the best driving mode has an 18.2% fuel reduction effect compared with the worst mode.

Nomenclature

C_1 : Vehicle rolling resistance coefficient

ρ : Air density (kg/m³)

W : Vehicle weight (kg_f)

C_2 : Vehicle aerodynamic drag coefficient

C_3 : Vehicle coefficient to allow for rotating inertias

A : Projected frontal area of vehicle

g : Gravitational constant (9.81 m/s²)

a : Acceleration of vehicle (m/s²)

F : Vehicle traction force (N)

T : Torque of engine (N · m)

i : Total reduction ratio

η_t : Efficiency of vehicle transmission system

r : Half size of driving wheel (m)

V : Vehicle speed (km/h)

n : Engine speed (RPM)

I. 序 論

1.1 연구 배경

20세기는 자동차가 발전하여 온 역사를 정리한 세기라고 말할 수 있다. 1900년대 이후로 자동차의 기술 개발이 급속하게 발전되었던 것은 경제 발전으로 인한 자동차의 수요의 증가로 인하여 가능하게 되었다.

세계 자동차의 총 생산은 6,050만대 (2000년 기준)로 추정되며, 이중 우리나라는 고도의 경제 성장으로 인하여 국민 생활 수준이 상향됨에 따라 자동차수요는 1970년에 126,660대였던 것이 1980년에는 527,729대로서 약 4.2배로 증가하였고, 1990년대에는 3,394,803대이고, 2000년도에는 11,783,111대로 30년 동안에 93배의 증가율을 보이고 있다[1].

이러한 자동차 수요의 증가에 따라 교통정체의 심화, 교통사고의 다발, 배출가스나 교통 소음에 의한 각종 공해의 발생등 심각한 사회문제를 초래하고 있다. 따라서 자동차의 안전 운행과 경제적인 운행은 사회복지 제도에도 직결되는 중요한 과제이다.

또한, 자동차 구조의 복잡화, 성능의 고도화, 특히 전자화의 경향 등 기술적으로도 대단히 복잡하게 되어 있어 자동차의 설계에서 제작, 조립에 이르기까지 획기적인 기술 능력을 필요로 하고 있어, 자동차 수요 증가에 따른 문제점과 기술 개발에 중점을 두고 있는 것이 현 실정이다.

이러한 자동차 수요의 증가에 따른 여러 가지 문제점 중에서도, 자동차의 배기 가스로 인한 지구 환경 오염이 가장 시급한 문제이다.

이러한 환경문제의 해결방안으로 세계 각 국은 환경 규제를 대폭 강화하고 있고, 국내에서도 휘발유, 경유, LPG 등 전 차종의 기준이 대폭 강화되어 휘발유 승용차의 경우 미국의 LEV(Low Emission Vehicle) 기준을 단계적으로 도입하여 2003년은 25%, 2004년은 50%, 2005년은 75%, 2006년은 100%로 강화될 전망이다[2].

자동차 배기 가스 중, HC, CO, NO_x 등은 여러 가지 배기가스 후처리 기술로 줄일 수는 있지만, 지구 환경 오염의 주요 원인이 되는 CO₂ 와 CFC 등의 온실가스 발생으로 인한 산성비, 오존층 파괴 등의 문제가 점점 확대되고 있는 실정이다. CO₂는 자동차 연료로 대부분 사용되는 화석연료가 이상적으로 연소될수록 생성량이 많아지므로 현재로는 CO₂ 자체를 연소기술이나 후처리기술로 저감할 수 있는 방안은 제시되고 있지 않고 있기 때문에 연료를 적게 사용함으로써 CO₂ 생성량 자체를 줄이는 것이 가장 효율적인 대책으로 알려져 있다[3][4].

연료를 절감하기 위해 이미 유럽에서는 엔진의 성능 향상과 차량의 소형화 및 경량화를 통해 3리터 카 (100km 주행에 연료 3ℓ를 소비하는 초저연비차)를 개발, 실 주행하고 있고 미국 역시 이에 필적할 수준의 신개념 자동차를 개발하고 있다.

세계 각 국에서 이러한 연구 개발에 중점을 두고 있듯이 연료 절감은 막대한

외화낭비의 입장에서뿐만 아니라 쾌적한 생활 환경 보전을 위해서도 그 어느 에너지의 소비 절감 대책보다 시급한 실정이다.

1.2 연구목적

자동차용 동력원에 요구되는 성능은, 배기가스 성능, 연료 소비율 이외에, 동력원 유닛의 크기와 중량, 가격, 사용 연료의 밀도, 연료 공급 인프라의 밀도, 또한, 연료 그 자체의 가격등 만족해야 할 요건이 많이 있지만, 최근의 자동차 기술은 차량의 연비 향상과 대체 에너지 개발에 집중되고 있다. 이러한 연구 방향은 기계적인 개발로 크게 두 가지로 분류될 수 있는데 기존의 동력 전달계의 구성 부품에 대한 개량이나 제어 알고리즘의 개선을 통해서 차량의 연비 성능을 향상시키는 방법과 기존의 동력 전달계의 구조를 변경함으로써 차량의 성능을 향상시키는 방법이 있다[13].

1999년에 발표된 일본 혼다사의 간접분사식 희박연소 엔진과 독일 지멘스사의 가열식 촉매 장치, 2000년대에 발표된 박진호의 H-V 변속 알고리즘 [14][15] 등이 전자에 속하고, 전기 자동차, 하이브리드 자동차, 연료 전지 자동차등은 후자에 속한다.

그러나, 이런 기계적인 개발도 중요하지만, 주행 시험의 중요성도 더욱 강조되고 있는데, 주행 시험은 차량의 동 특성, 차량 성능 평가 이외에도 시가지, 교외, 고속 도로 등 다양한 도로 특성에 따른 실제 소비자의 주행 패턴 및 습관을 정확하게 분석할 수 있어야 한다.

그렇지만, 현재는 체계적인 운전 주행기술이 발굴되지 않아 운전자는 서로 상이한 주행 방식을 채택하고 있다.

출발과 함께 급 가속을 하는 운전자, 천천히 주행하는 운전자, 부하 변동을 심하게 하는 운전자 등 이러한 운전 습관의 차이는 연료 소모량의 증가나 감소를 가져온다[4].

자동차의 연료 소모율에 직접적인 영향을 미치는 것은 엔진의 토크와 속도로써 운전 영역에 따라 출력 당 연료 소모율이 큰 차이를 나타내므로 운전모드를 적절히 선택하여 효율이 좋은 영역에서 운전하게 되면 연료소비를 현저히 줄일 수 있다.

또한, 자동차는 언덕을 내려오거나, 정지할 때 위치 에너지와 운동 에너지를 제동 에너지로 소모하고 있다. 이러한 에너지를 회수하기 위하여 연료차단(Fuel cut off)기능을 갖고 있는데 이를 활용하는 운전을 하면 연료를 더욱 줄일 수 있을 것이다.

본 논문에서는 경사로를 고려한 운전 모드에서 연료소모율을 계산 할 수 있는 계산 프로그램을 만들고, 이를 이용하여 여러 가지의 운전 모드의 연료 소모율을 비교 분석하여 이를 종합적으로 검토하여 경사로 주행시 최적운전모드를 제시하고자 한다.

Ⅱ. 車輛의 연비와 연비에 미치는 영향

2.1 휘발유 승용차의

차속별 대기 오염 물질 배출량 및 연비

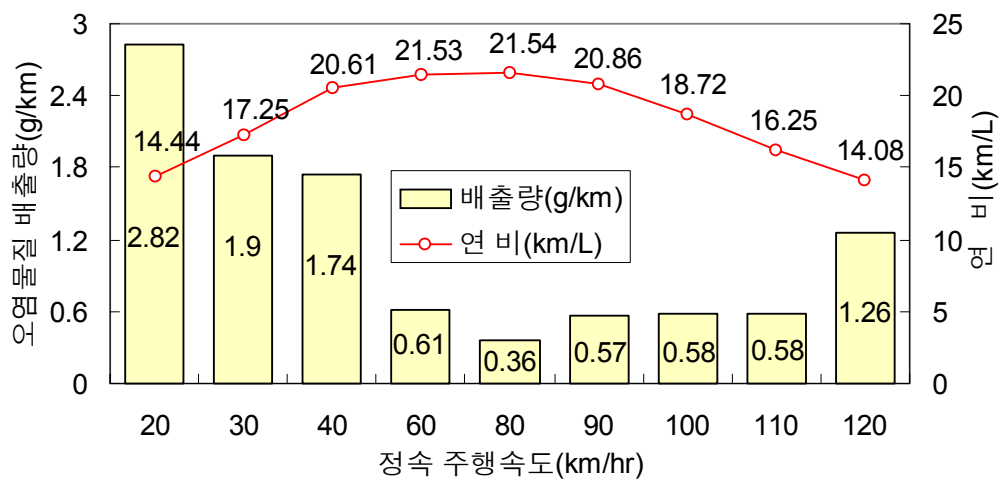


Fig. 2.1 Exhaust emission and fuel consumption at various speeds

Fig. 2.1은 '98년도에 국내에서 생산 운행되고 있는 휘발유 승용차의 차속별 대기오염물질 배출량 및 연비의 시험결과를 나타낸 것이다.[16]

시험은 1,500 cc급 2대, 1,800 cc급 1대 및 2,000 cc급 1대를 대상으로 차대 동력계상에서 2사람이 탄 조건으로 정속 주행하면서 수행하였고, 각 속도별로 대기오염물질 배출량(CO, HC, NO_x의 합)과 연비를 평균한 것이다.

Fig. 2.1에서 보는 바와 같이 정속 주행 속도가 경제 속도인 80km/h인 부근에서 연비가 제일 좋게 나왔고, 이 지점에서 또한 대기 오염 물질 배출량이 제

일 작게 나음을 알 수 있다.

Fig.2.2는 고속도로를 100km를 주행할 경우의 연비를 나타낸 것이다.[17]
이는 같은 배기량에서는 DOHC가 SOHC보다 연비가 나쁘게 나타났으며, 배기
량이 2000cc에서 제일 좋은 결과를 보여주고 있다.

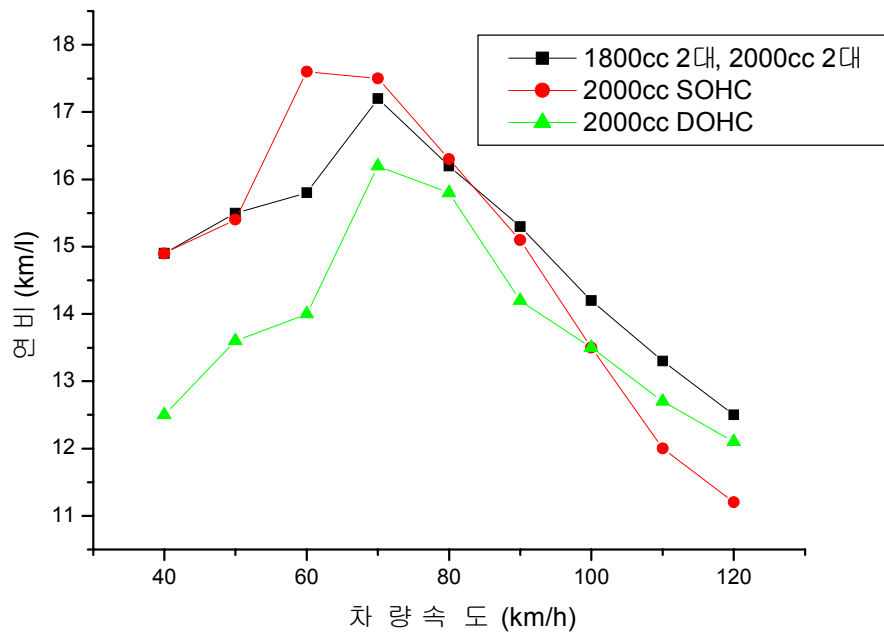


Fig. 2.2 Fuel consumption rate of the result which a highway 100km driving.

2.2 차량 운전자가 느끼는 실제 연비

2.2.1. 승용차 연비 간이 실측 시험 조사

Table 2.1은 소비자 문제를 연구하는 시민의 모임(시민 단체)이 산업자원부, 에너지 관리공단, 한국에너지 기술연구소 후원으로 「승용차 연비 간이 실측 시험 조사」를 실시하였으며, 이 조사는 소비자들이 직접 자동차를 운행하면서 실제로 사용하는 휘발유 소모량을 산출하여 회사측이 제시한 연비와 어느 정도 차이가 있는지를 알아보는 조사이다.

Table 2.1과 같이 차량군이 제5군인 2000cc급 정도와 1800cc급 정도에서 최대 연비를 보이고 있으며, Fig. 2.2와 같은 경향을 보이고 있다..

Table 2.1 Fuel consumption rate differences between user and maker

(단위 %) 차량군	평균차이율	최대	최소
제1군(800cc이하)	58.7	76.0	48.0
제3군(1,100초과 1,400이하)	67.8	84.2	54.2
제4군(1,400초과 1700이하)	61.8	93.3	42.3
제5군(1,700초과 2,000이하)	70.7	97.8	50.0
제6군(2,000초과 2,500이하)	81.2	82.8	62.6
제7군(2,500초과 3,000이하)	69.6	74.6	60.2
제8군(3,000이상)	78.3	90.7	65.6
시가지대 공인연비전체 차이율	66.8		

2.2.2. 고속화도로의 소비자 연비

Table 2.2 Fuel consumption rates investigation by 1,000 citizens

운전 행태	성급한 운전자	암전한 운전자	일 반 운전자	경제 운전자
연비(km/ℓ)	7.0	9.0	10.5	13
1회주유 주행거리(km/55ℓ)	385	495	578	715

Table 2.2는 경제정의실천 시민연합회의 정보과학위원회 자동차 에너지·환경분과와 주관 기관이 서울 시민 1,000명을 대상으로 평가한 자료이다.

운전 행태에 따른 연비의 차이를 보여주는 있으며, 성급한 운전자와 경제 운전자의 연비 차이는 46%로 나타났는데, 운전자의 운전하는 방식에 따라 얼마나 많은 연료 절감의 영향을 미치는지를 알 수 있다.

2.3 차량 연비에 영향을 미치는 요소

2.3.1. 가속 페달 사용이 연비에 미치는 영향

Fig. 2.3은 가속 페달의 조작이 연비에 미치는 영향을 보여준 그림으로써, 난폭 운전자의 경우 급격한 부하 변동 운전을 하기 때문에 높은 연료 소모율 “D”를 보이며 경제 운전자의 경우는 부하 변동을 최소화하는 “B”와 같은 운전을 하기 때문에 경제적인 운전을 하게 된다. 즉, 부하 변동(가속 페달 조작)에 따라 $D > C > B > A$ 의 순으로 연비가 높아짐을 보여준다.

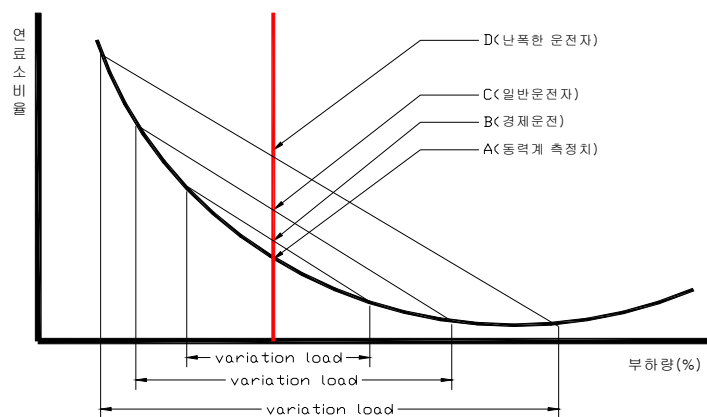


Fig. 2.3 The influence of an acceleration pedal work on a fuel consumption rate

2.3.2. 급 가 · 감속이 연비에 미치는 영향

Fig. 2.4는 급 가 · 감속시의 공기량과 연료 분사량 변화율을 나타낸다.

급 가속시 흡입관내 흡입 공기압은 증가하나, 배기 관내 압력은 전과 동일하며, 흡-배기 밸브 오버랩(흡기 밸브와 배기 밸브가 동시에 열려 있는 구간)기간중 흡기관 내 분사된 연료의 기화지연으로 공연비 희박 현상이 발생한다. 급 가속 정도가 정격 부하 이상의 부하를 요구할 때 과도한 연료 분사량의 증가로 연료가 30% 정도 많이 들어가며, 실제 차량의 측정한 예(Fig. 2.4)로 ①은 급 가속시 연료 분사량이 많은데도 불구하고 배기가스의 산소농도가 많은 것이고 ③은 연료 분사량이 적정량 ④에 비해 30%정도 많이 분사되고 있는 것을 볼 수 있다.

급하게 감속하면 흡입관내 압력은 저하하나, 배기 관내 압력은 전과 동일하며, 흡배기 밸브 오버랩 기간중 배기관의 높은 압력 영향으로 실린더 내 잔존 배기량이 많아지고 공급되는 신기 유입량은 적게 된다. 이 기간동안 연료 분사량은 흡입 공기 압력에 의존하여 연료가 분사되므로 실린더 내 공급 공기량에 비해 연료 분사량이 과다하게 된다.

따라서, 급 가 · 감속은 연비와 배기 배출물을 크게 악화시킴을 알 수 있다.

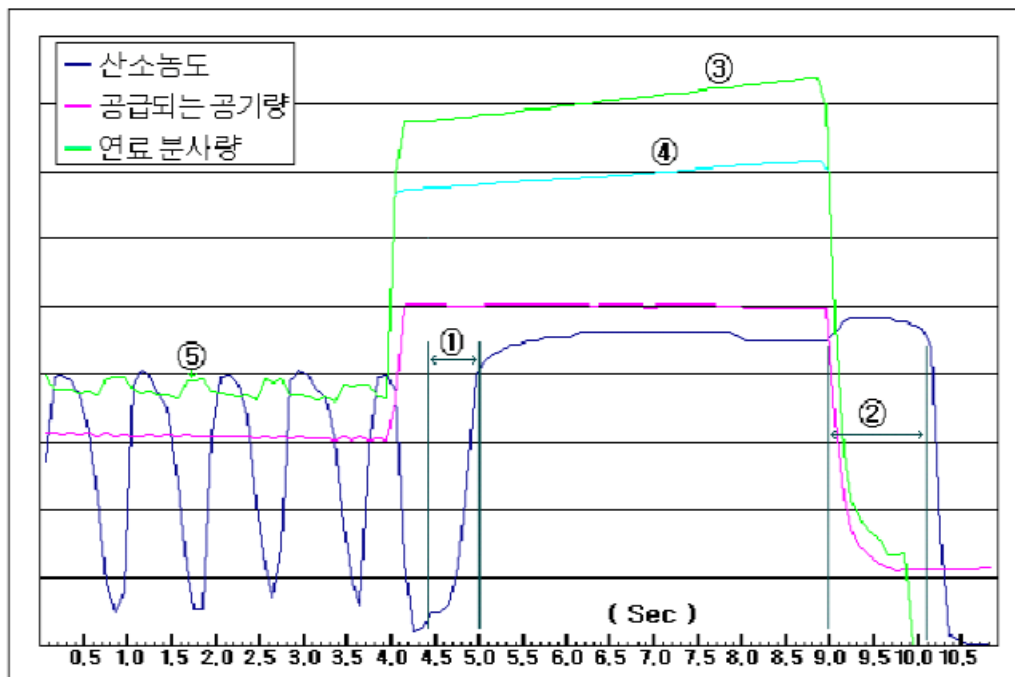


Fig. 2.4 Air, fuel injection and oxygen density at fast acceleration and fast deceleration

2.3.3. 기어 변속 및 평균 부하량에 의한 영향

기어 단수마다 주행 가능한 속도 범위가 있고, 그 범위 이외에는 엔진의 적정부하 대비 부하가 많거나 적게되어 연료소모가 많아지므로 주행 중에는 엔진 회전수나 기어단수를 적정하게 하고 엔진에 무리가 없는 한 고단 기어를 이용하면 연료 소모를 줄일 수 있다.

이는 Fig. 2.5에서 알 수 있듯이 기어를 고단 기어로 사용하게 되면 즉 다시 말해서, 평균 부하량을 올리게 된다면, B와A의 차이 만큼의 연료를 줄일 수 있게 된다.

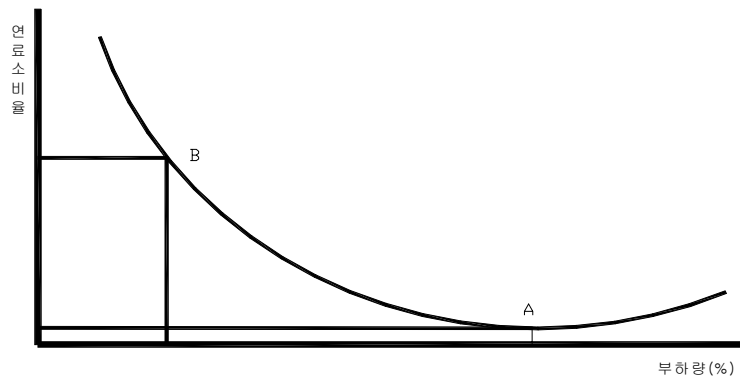


Fig. 2.5 Fuel consumption rate with a load variation

2.3.4. 타이어 공기압에 의한 영향

공기압이 30%정도 부족하면 연료 소모가 5-25% 많아지므로, 공기압을 측정해 부족한 공기를 넣어준다.

2.3.5. 주행 속도에 의한 영향

고속 주행시 경제 속도를 유지한다. 공기 저항은 속도가 빠를수록 커지므로 연료소모도 많다. 시가지 저속 주행시에는 도로 정체로 인한 대기 시간이 길어지므로, 가능하면 신속히 가속하여 주행 평균 속도를 올리면 연료가 적게 소모하게 된다.

2.3.6. 차량 중량에 의한 영향

경량화는 구름저항의 감소와 가-감속시의 에너지를 저감하기 때문에 연료 소비량을 줄일 수 있다.

예를 들면, 100kg 정도 되는 낚시도구나 스키 캐리어, 골프 가방 등을 트렁크에 싣고 50km를 주행할 때 일반 차량의 경우 80cc정도의 연료가 더 든다.

2.3.7. 소모 에너지 이용이 연비에 미치는 영향

차량운전에서 소모되는 에너지는 제동시 소모되는 관성 에너지와 내리막 경

사로를 운행할 때 소모되는 위치 에너지로 크게 대별된다. 이를 연료 차단 효과 (fuel-cut-off)로 이용하게 되면 이 구간동안 연료 소모 없이 운행하게 된다. Fig. 2.5와 같이 연료 차단을 이용한 타력 운전을 하면 연료 소모가 줄어든다.

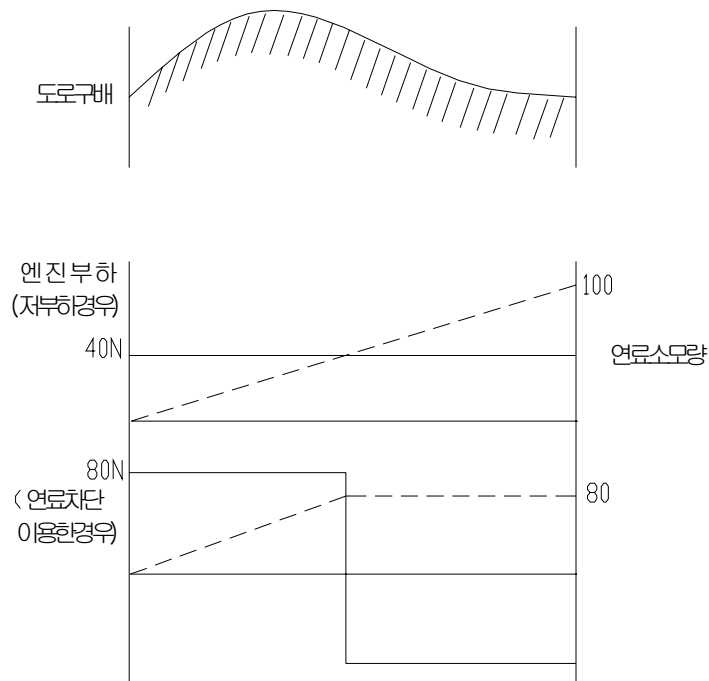


Fig. 2.6 Comparison of fuel consumptions on the up-down road

Ⅲ. 實驗 裝置 및 條件

3.1 實驗 裝置

Fig. 3.1은 계산에 적용할 엔진속도 및 부하별 연료 소모율을 구하고 부하변동을 실험하기 위한 실험장치를 보여준다.

이 실험 장치는 엔진의 운전 조건(토크, 회전수, 부하, Trottle 개도 등)을 부여한 후 자동 및 수동으로 시험운전을 하며 여러 센서(연료 소모량, 배기가스, 온도, 압력, 토크, 회전수 등)로부터 얻은 값을 그래프 및 디지털로 보여주고 이를 분석하여 엔진의 성능 시험을 할 수 있는 장비이다.

실험 장치는 크게 5가지 부분으로 나뉘어지는데, 엔진, 동력계, 제어부, 냉각 시스템, 연료 공급 시스템으로 분류할 수 있다.

엔진은 1500cc급 가솔린 엔진이며 연소가 정상적으로 진행되는지를 판단하기 위하여 1번 실린더에 압력센서를 장착하였고, 다이나모와 크랭크 축이 체인으로 커플링이 되어 있어 토크 제어가 가능하도록 되어 있다.

연료의 소모량을 측정하기 위하여 연료 탱크를 디지털 중량 측정식으로 하여 연료의 소모량을 실시간으로 측정할 수 있게 하였고, 제어부에서는 다이나모와 각종 센서의 신호등을 받아들여 엔진 부하와 속도를 제어하면서 모든 데이터 처리를 할 수 있다.

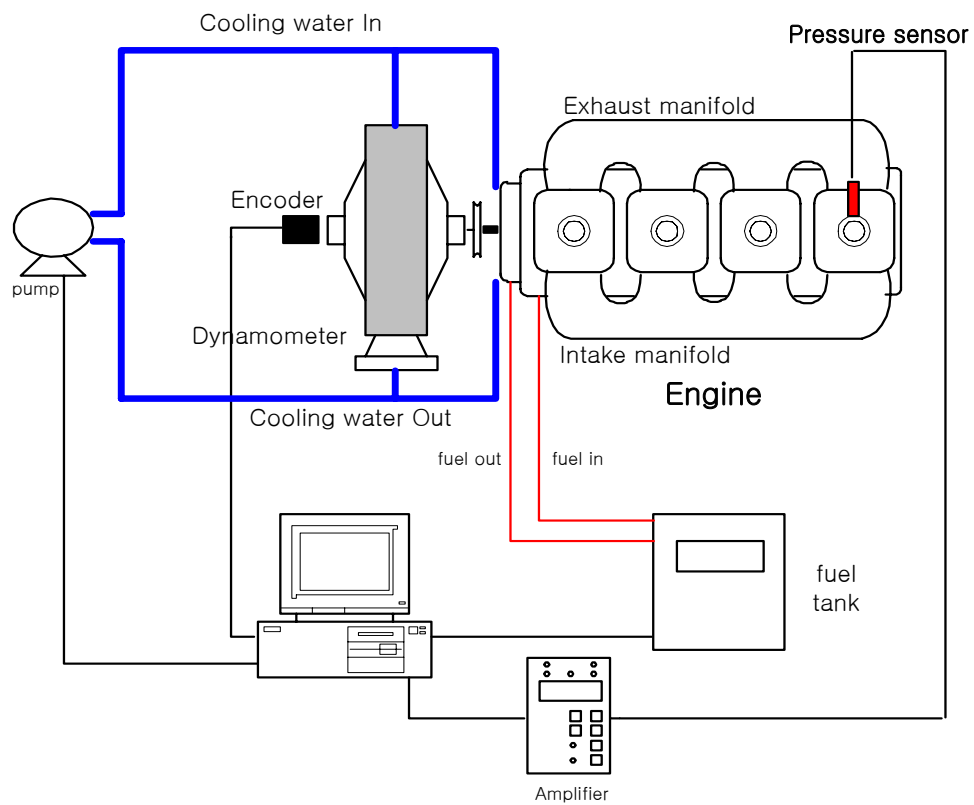


Fig. 3.1 Experimental Setup

3.2 實驗 裝置 제원 및 Simulation 조건

시뮬레이션 대상 차량은 1500cc급 가솔린 기관을 장착한 차량으로 선정하였으며 차량의 제원은 Table 3.1과 같고 동력 전달장치의 제원은 Table 3.2 와 Table 3.3과 같다.

차량의 중량을 1300kgf, 전면 투영면적을 1.0m^2 , 구동바퀴 반지름을 0.25m, 공기 저항 계수를 0.3으로 가정하였으며, 차량의 엔진은 1.5 MPI 가솔린 기관을 사용하였다.

Table 3.1 Specifications of vehicle

Vehicle weight	1300 (kg)
Projected frontal area of vehicle	1.0 (m^2)
Half size of driving wheel	0.25 (m)
Drag coefficient	0.3

Table 3.2 Specifications of engine

Engine type	1.5 DOHC Gasoline MPI
Number of cylinders	4
Arrangement of cylinders	In-line
Ignition	Spark
Firing or injection order	1-3-4-2
Cycle	4 Strokes
Super charging device	none

Table 3.3 Specifications of transmission system

T/M Lever	1st step	3.462
	2nd step	1.950
	3rd step	1.393
	4th step	1.061
	5th step	0.878
Final Reduction Ratio		3.650

Fig. 3.2는 적용 차량의 연비 특성을 나타낸다. 최대 토크일 경우 80% 토크에서 보다 20% 증가된 연료 소모율을 보인다. 이는 50% 토크 영역의 연료 소모율과 유사한 수치이며, 이 이하의 토크 영역에서는 연료 소모율이 급격히 증가됨을 알 수 있다.

즉, 운전 영역을 가급적이면 80% 토크 정도로 하는 것이 좋으며 낮은 토크보다는 높은 토크로 하는 것이 바람직하다.

이는 고단 기어를 사용함으로써, 평균 부하율을 높여 고부하 영역에서 운전을 행한다면, Fig. 3.2에서 보여주는 것처럼 연료가 적게 소모되는 영역을 최대한 이용할 수 있을 것이다.[5].

Fig. 3.3은 연료 소모율을 3차원으로 나타낸 그래프이다.

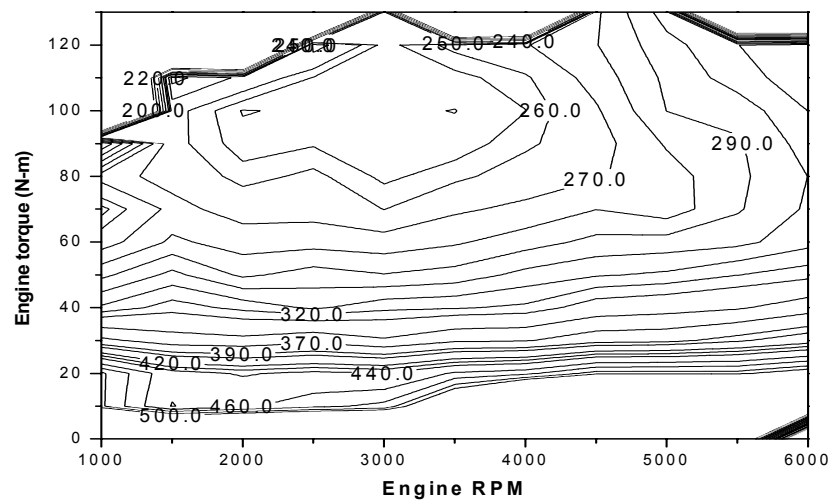


Fig. 3.2 Engine map of specific fuel consumption rate with torque and engine speed

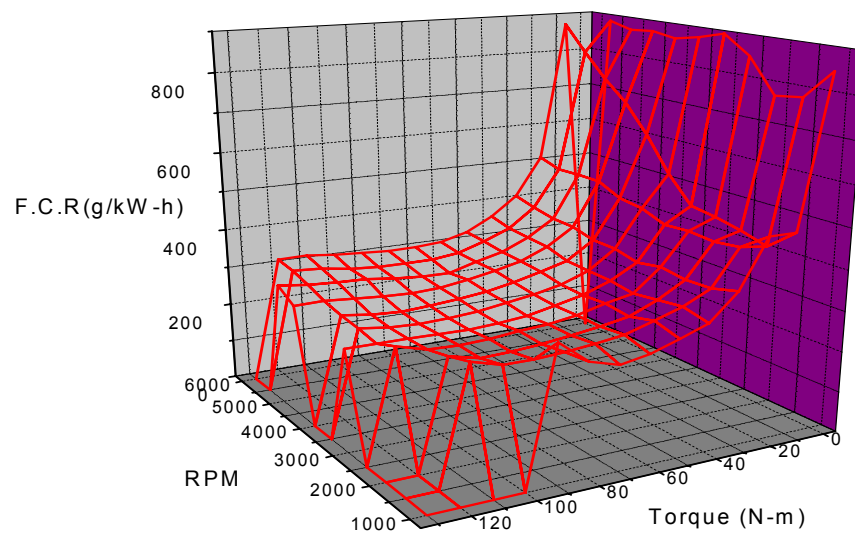


Fig. 3.3 Fuel consumption rate for engine torque and RPM

3.3 負荷 變動에 따른 배기 가스와 燃料 消耗率의 영향

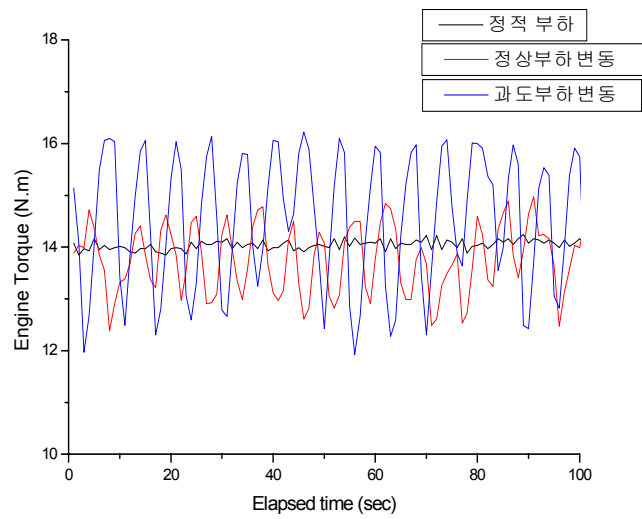


Fig. 3.4 Torque variation

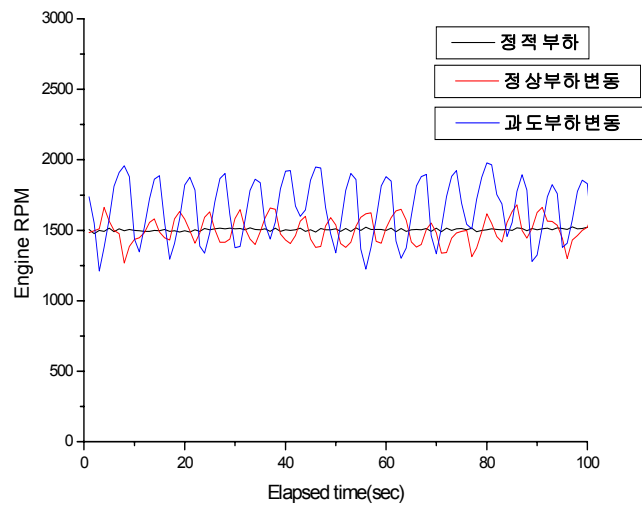


Fig. 3.5 Engine speed variation

Fig. 3.4는 각각의 부하 변동의 종류, 즉 아무런 부하의 영향을 주지 않고 Accelerator를 가만히 밟고만 운행하는 정적 부하와, 약간의 부하 변동으로 운행하는 일반적인 운전자의 운행 방식을 표현하는 정상 부하 변동을 나타내고, 마지막으로 급하게 과속하는 운행 방식을 표현하는 과도 부하 변동을 나타내는 것이다.

Fig. 3.5는 각각의 부하 변동시의 엔진 RPM을 나타낸 것이다.

Table 3.4 Exhaust emissions and fuel consumption

RPM	LOAD [%]	형태	배기 가스					연료 소모율
			CO	CO ₂	HC	O ₂	NO _x	g/s
1500	40	정적 부하 (Case1)	0.18	8.1	45	9.4	307	0.377
		정상 부하 변동 (Case2)	0.25	10.8	88	8.2	376	0.406
		과도 부하 변동 (Case3)	0.56	13.8	168	5.9	618	0.494

Table 3.4에서는 각각의 부하 변동에 따른 배기 가스와 연료 소비량을 나타낸 것인데 이는 Fig. 3.6, Fig. 3.7, Fig. 3.8, Fig. 3.9 Fig. 3.10 Fig. 3.11로 나

타내어진다.

그림에서 보는 바와 같이 운전자가 주행시 부하 변동을 심하게 하면 할수록 배기 가스면 에서나 연료 소비율면에서도 확실하게 나쁜 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

연료 소비율은 정적부하와 비교할 때 과도부하변동의 경우가 31% 증가하였다.

배기 배출물은 더욱 큰 증가를 보이고 있는데 CO는 211%, HC는 273%, NOx는 101% 증가됨을 알 수 있다. 이는 운전습관이 연비와 대기오염에 얼마나 큰 영향을 미치는 지를 보여주는 것이다.

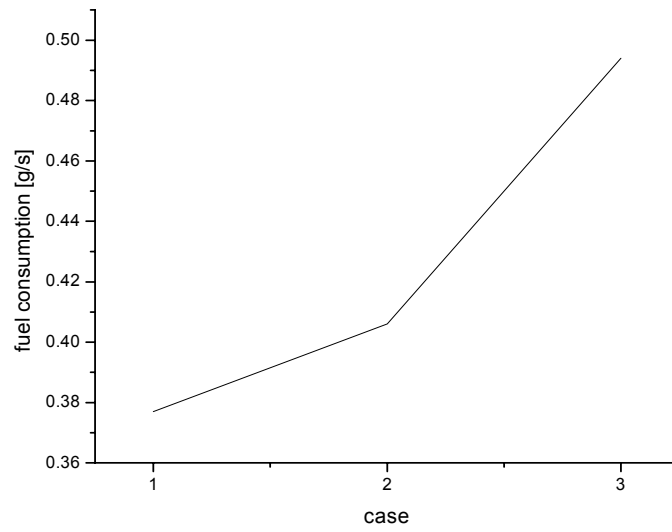


Fig. 3.6 Fuel consumption variation

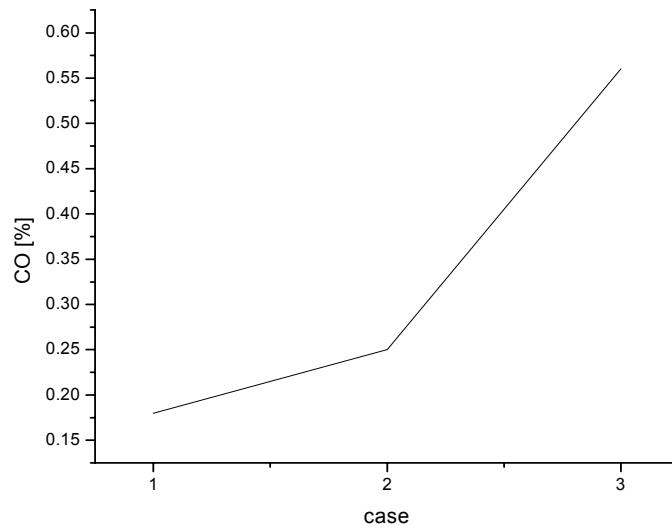


Fig. 3.7 CO variation

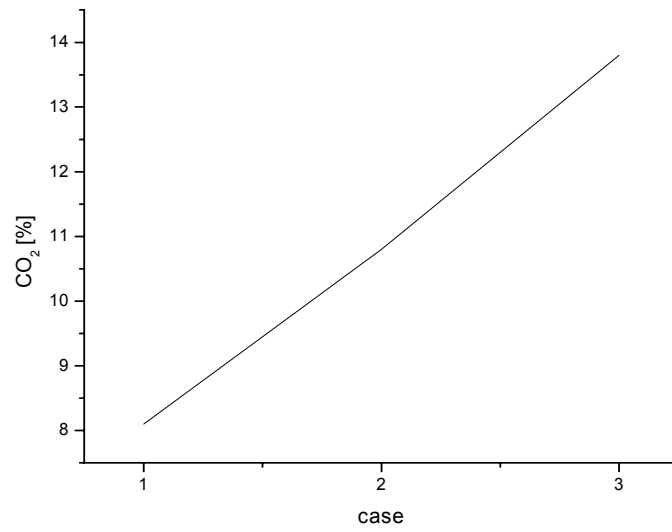


Fig. 3.8 CO₂ variation

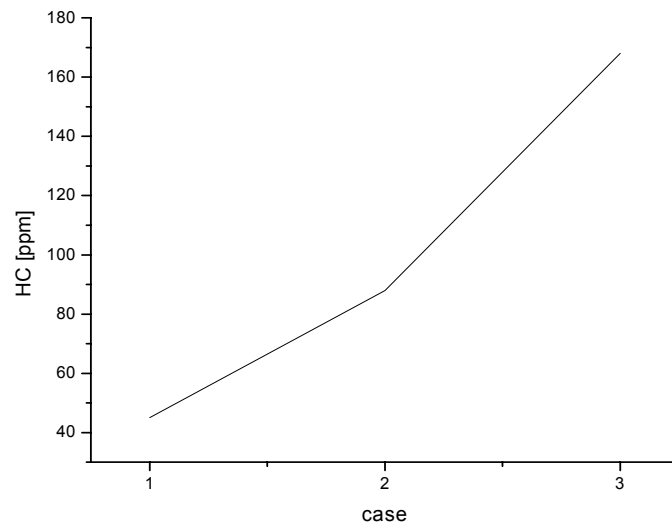


Fig. 3.9 HC variation

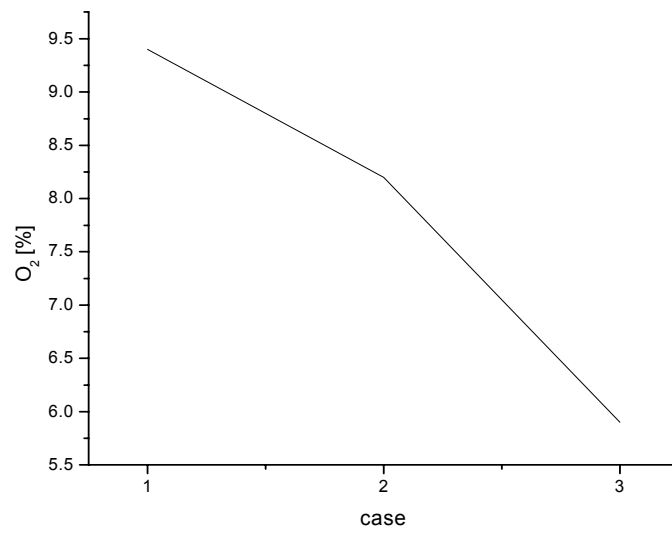


Fig. 3.10 O_2 variation

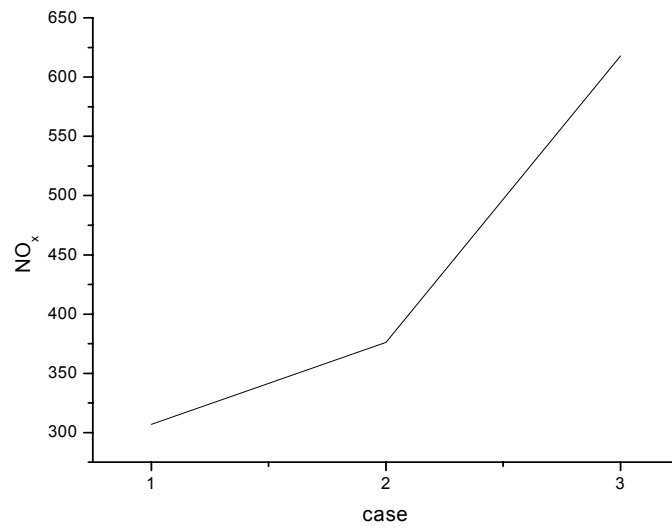


Fig. 3.11 NO_x variation

Ⅳ. 數學的 모델 및 解析 알고리즘

4.1 車輛 走行 抵抗과 엔진 토크와 RPM의 關係

차량의 주행저항을 계산하여[6] 엔진토크를 구하기 위한 수학적 모델[7]은 차량의 주행 및 전달계통을 고려하여 다음과 같이 전개된다.

구동력 혹은 주행 저항은 차량의 구름저항, 공기저항, 가속저항, 회전부품의 가속저항, 경사면의 중력저항을 종합한 다음 식으로 주어진다[6][8].

$$F = C_1 \cdot W + \frac{1}{2} \rho \cdot C_2 \cdot A \left(\frac{V}{3.6} \right)^2 + (1 + C_3) \frac{W}{g} \cdot a + W \cdot \sin \theta \quad (4.1)$$

여기서 평지에서의 주행저항은 등판저항이 없어진다. 즉, $W \cdot \sin \theta = 0$ 이 되며 (4.1) 식은 다음과 같이 주어진다.

$$F = C_1 \cdot W + \frac{1}{2} \rho \cdot C_2 \cdot A \left(\frac{V}{3.6} \right)^2 + (1 + C_3) \frac{W}{g} \cdot a \quad (4.2)$$

여기에 C_1 , C_2 , C_3 는 구동저항계수, 공기저항계수, 회전상당계수로서 C_1 과 C_2 값은 Table 4.1과 Table 4.2와 같다[3][9].

Table 4.1 Values of C_1

Road condition	C_1
Good asphalt road	0.01
Good cement road	0.011
Normal asphalt & cement road	0.015
Sand road	0.165

Table 4.2 Values of C_2

Type	C_2
Passenger car	0.3~0.5
Truck	0.4~0.6
Bus	0.5~0.8
Bike	0.6~0.9
Advanced car	0.15~0.3

본 계산에서는 구름저항 C_1 값은 양호하고 평탄한 아스팔트 도로로 가정하여 0.01로 정의하였고, 공기저항 C_2 의 값은 보통승용차 수준인 0.3을 기준으로 한다. 그리고, 회전 상당계수 C_3 의 값은 승용차의 경우 고속주행에서 0.07, 저속 상태에서 0.8정도의 값을 가지는 것을 감안해 Fig. 4.1과 같은 특성을 가지는 것으로 정의한다.

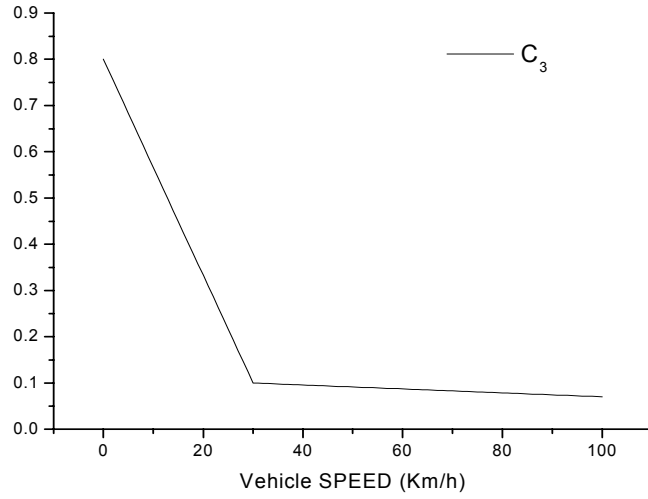


Fig. 4.1 C₃ Variation with vehicle speed

위의 (4.2)식을 이용하여 F 의 값을 구하고 엔진 토크(N-m)를 구하기 위한 공식은[10]

$$F' = \frac{T \cdot i \cdot nt}{r_d} \quad (4.3)$$

$$T = \frac{F' \cdot r_d}{i \cdot nt}$$

$$T = \frac{F \cdot r_d \cdot 9.81}{i \cdot nt} \quad (4.4)$$

가 된다.

여기에서 r_d, i, nt 는 각각 구동륜의 반지름, 총 감속비, 기계전달효율을 나타낸다.

또한, 엔진의 RPM은 차의 속도를 나타내는 다음의 식으로부터 구해 질 수 있다.

$$V = \frac{2\pi \cdot r_d}{1000} \cdot \frac{60 \cdot n}{i} \quad (4.5)$$

회전수 n 에 대하여 정리하면

$$n = \left(\frac{1000}{2\pi \cdot r_d} \cdot \frac{i}{60} \right) \cdot V \quad (4.6)$$

4.2 연료 공급의 제어 특성

여기서 연료공급 제어 특성중의 하나인 연료차단을 설명하고자 한다.

연료차단(Fuel cut-off)이란 위치 에너지와 관성에너지를 최대한 이용하기 위하여 엔진작동이 불필요한 운전영역에서 연료가 공급되지 않도록 하여 불필요한 연료를 소모하지 않도록 하는 기능을 말한다.

이는 지금 시판되고 있는 대부분의 승용차에 적용되어 있으며, 단지 운전자가 그것이 어떻게 작동하는지를 모르기에 적절하지 못한 운전 행태로 유한한 자원인 연료를 낭비하고 있으며 또한 환경오염을 가중시키는 요인이 되고있다.

연료 차단 기능을 활용하여 주행하면 연소실내 폭발이 없이 엔진이 회전하기 때문에 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다;

- ① 실린더 내부에 열 축적이 사라짐
- ② 실린더내 연소실 폭발시 파괴되는 윤활유의 윤활 피막이 안정적으로 보호됨
- ③ 실린더와 피스톤 사이에 발생하는 마찰력 감소

이러한 효과로 인하여 차량이 정숙하며 엔진이 부드러워지는 등, 여러 가지

장점들이 있다.

연료 차단 기능을 활용할 수 있는 부분은 지정한 RPM구간인데, 지정한 RPM구간이라 하면 (자동차의 종류와 Maker에 따라 다소 차이가 있으나) 본 연구 엔진 1.5 DOHC의 경우, 2000RPM 이상에서 작동을 시작하여 1500RPM 에서 작동을 멈춘다. 즉 운전 중 2000RPM 이상에서 가속 페달에서 발을 떼면 연료공급이 중단되며 RPM이 1500RPM까지 내려가면 다시 연료가 공급된다. (현재 신형 엔진의 경우에는 1200RPM 이상에서 연료 차단기능이 동작됨)

Fig. 4.2와 Fig. 4.3은 연료 차단 기능이 작동되는 될 때와 그렇지 못한 때를 보여 준다.

Fig. 4.2의 실선은 엔진 RPM이 2000이상인 2500까지 가속을 하고 가속페달을 놓았을 경우의 차량속도변화를 나타내며, 점선은 가속페달을 놓은 순간부터 1500에 도달할 때까지 연료차단이 작동하는 것을 보여주고 있다.

Fig 4.3의 실선은 엔진 RPM이 2000이하인 1800에서 가속페달을 놓았을 경우 연료차단 작용 조건을 만족하지 못하여 연료차단 작동이 일어나지 않음을 점선이 나타내고 있다[4].

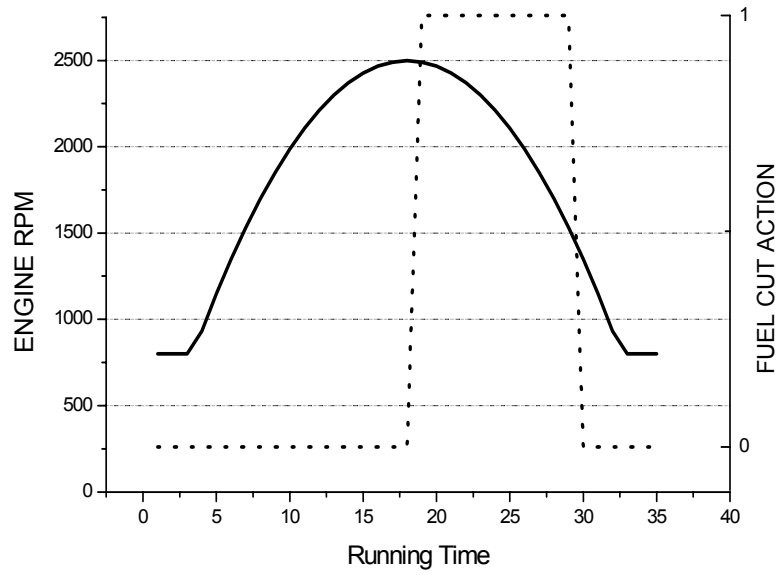


Fig. 4.2 Input signal with fuel cut-off action

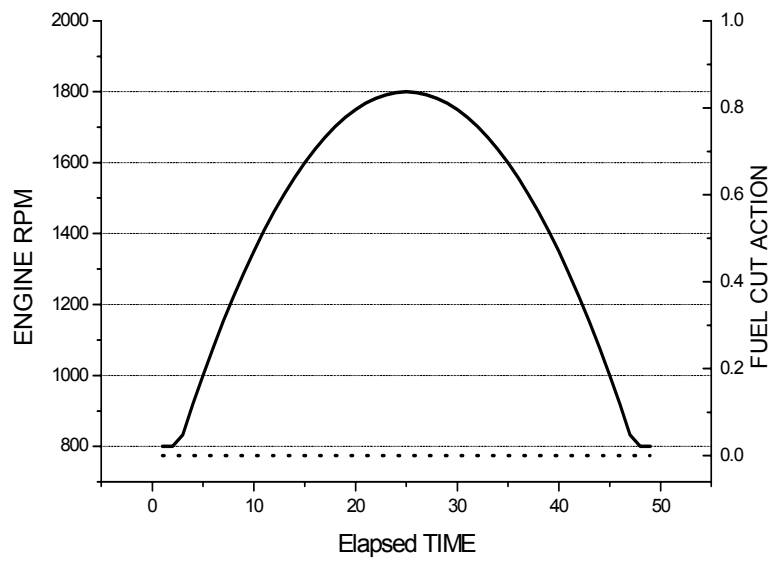


Fig. 4.3 Input signal without fuel cut-off action

4.3 해석 알고리즘

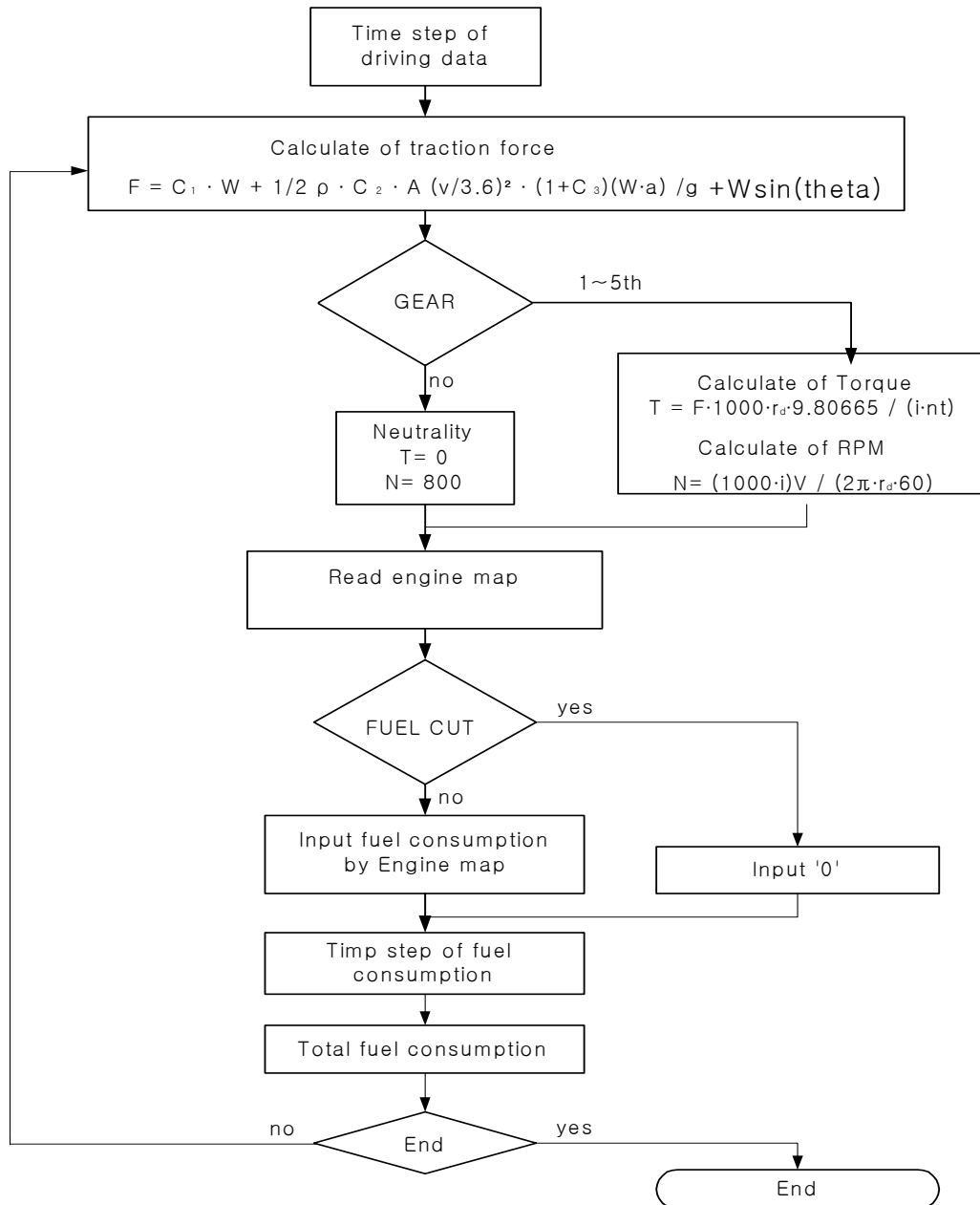


Fig. 4.4 Flow diagram for program

Fig. 4.4는 주행 패턴에 따른 연료소모량 계산을 수행하는 해석 알고리즘을 나타낸다.

기본 계수인 차량중량, 구름저항계수, 공기밀도, 공기저항계수, 차량전면투영면적, 중력가속도, 총 감속비, 경사 구배도($W, C_1, \rho, C_2, A, g, i, \theta \dots$) 등은 차량 및 주행도로에 따라 주어지는 값이다.

차량의 주행모드는 시간에 따른 주행 속도로 정의되며 사용자가 원하는 임의의 값을 결정하여 코드의 입력 값(Input data)으로 사용한다. 주어진 속도/시간 입력 값을 이용하여 총괄 주행저항이 결정되며 차량구동력(F)와 같은 값을 갖는다.

여기서 차량구동력(F)을 알면 엔진의 토크와 RPM을 구할 수 있다[11].

연료 소모율은 앞에서 구한 토크, RPM을 엔진의 토크와 RPM에 따른 연료 소모율 (g/s)을 나타낸 Fig. 4.5에 대입[12]하여 구할 수 있는데, 이를 좀더 계산하기 쉽게 나타낸 것이 Table 4.3이다.

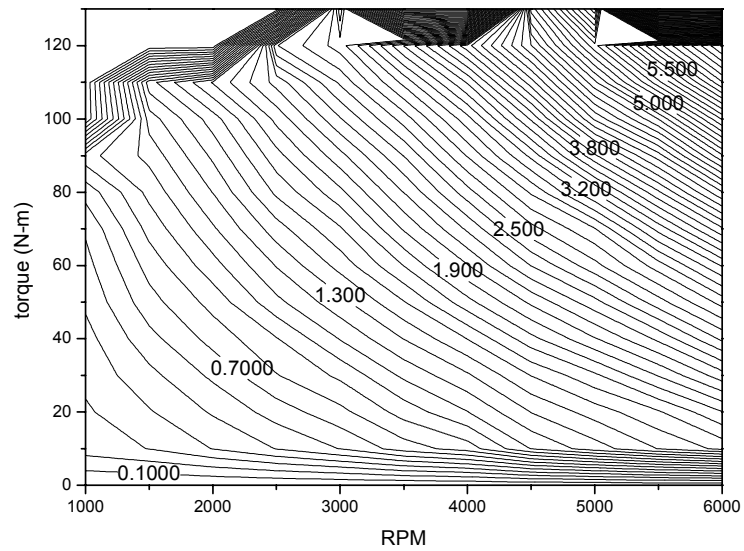


Fig 4.5 Comparison of fuel consumption rate (g/s)

Table 4.3 Comparison of fuel consumption rate (g/s)

130	0	0	0	0	0	2.87959	0	0	4.73311	5.77204	0	0
120	0	0	0	0	2.39504	2.64855	3.20285	3.76062	4.3933	5.16841	5.94877	6.61915
110	0	0	1.36177	1.71063	20.3546	2.41909	2.83149	3.31106	3.95404	4.674	5.36561	6.08992
100	0	0	1.14749	1.45268	1.82764	2.19123	2.54482	2.96431	3.5147	4.21756	4.70095	5.4099
90	0	0.86254	1.03031	1.31962	1.66403	1.96495	2.30519	2.70762	3.12919	3.68118	4.15457	4.78324
80	0	0.63744	0.93157	1.19805	1.5222	1.77015	2.10248	2.4592	2.81552	3.20574	3.68234	4.18983
70	0	0.51429	0.83413	1.08205	1.35391	1.58754	1.91173	2.21878	2.56452	2.79274	3.23469	3.68372
60	0	0.46197	0.73857	0.96086	1.20522	1.43604	1.70226	1.99364	2.29961	2.56702	2.85049	3.20848
50	0	0.41763	0.66099	0.8701	1.07077	1.26719	1.49538	1.76445	2.02194	2.26775	2.55742	2.84076
40	0	0.36253	0.56727	0.7371	0.89623	1.10579	1.29825	1.49896	1.76813	1.99102	2.22421	2.5204
30	0	0.32739	0.4695	0.61941	0.79364	0.92301	1.12055	1.28534	1.50388	1.67958	1.90658	2.15442
20	0	0.28662	0.38998	0.51003	0.64604	0.76893	0.94196	1.0952	1.30078	1.44705	1.58913	1.79132
10	0.2	0.24793	0.3	0.4	0.5	0.6	0.75	0.85	1.1	1.25	1.4	1.52884
-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b/a	800	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000

주) “a” : RPM , “b” : Torque

연료소모량을 구하고자하는 RPM-토크에 해당하는 위치를 표에서 찾으며 주위의 값을 t_1, t_2, t_3, t_4 라고 하면, 연료소모율은 Fig 2.6과 같이 표현되어진다.

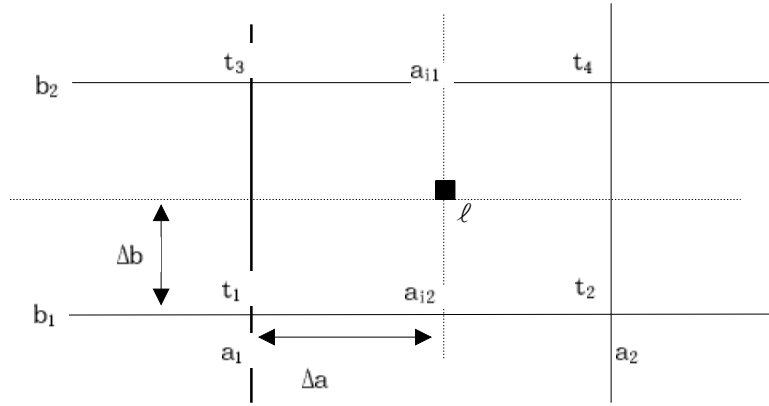


Fig. 4.6 Set position

(단, a_1, a_2 는 도표의 RPM 구분이고, b_1, b_2 는 토크구분이며, t_1, t_2, t_3, t_4 는 연료 소모율을 나타낸다.)

이 값을 기준으로 비례 배분법으로 연료소모율(ℓ)의 값을 구한다.

$$\begin{aligned} a_{i1} &= \left(\frac{(t_4 - t_3)}{(a_2 - a_1)} \times \Delta a + t_3 \right) \\ a_{i2} &= \left(\frac{(t_2 - t_1)}{(a_2 - a_1)} \times \Delta a + t_1 \right) \\ \ell &= \left(\frac{(a_{i1} - a_{i2})}{10} \times \Delta b + a_2 \right) \end{aligned} \quad (4.7)$$

여기서 구하여진 값 ℓ 은 연료소모율(g/s)이며, 이 값들을 적분한 값이 해당 모드에서의 총 연료소비량(g)이 된다.

4.4 適用 모드의 種類

총 주행 거리 1km를 운행하는 것으로 하고 노면의 상태는 처음에서 100m까지는 평지이고, 100m에서 500m까지는 언덕길로써 기울기는 5. 이고, 500m에서 900m까지는 내리막길로써 기울기는 -5. , 900m에서 1km까지는 다시 평지로서, 주행 모드는 운전자의 성격을 고려하여 급 가속운전, 보통운전, 저속운전을 구분한다. Table 3.5는 모드별의 특성을 나타낸다.

- a. Mode - 1 (급 가속 차단 이용 모드) : 매우 빠른 가속(90-100% 부하 상태)을 하고, 내리막길에서 연료 차단 기능을 적용한 모드
- b. Mode - 2 (급 가속 차단 없는 모드) : Mode-1하고 같은 모드이지만 연료 차단 기능을 적용하지 않은 모드
- c. Mode - 3 (85% 가속 차단 이용 모드) : 적정 가속을 하고, 내리막길에서 연료 차단 기능을 적용한 모드
- d. Mode - 4 (85% 가속 차단 없는 모드) : Mode-3하고 같은 모드이지만, 연료 차단 기능을 적용하지 않은 경우
- e. Mode - 5 (80% 가속 차단 이용 모드) : 적절한 가속을 하는 모드로 연료 차단 기능을 적용한 경우

f. Mode - 6 (80% 가속 차단 없는 모드) : Mode-5하고 같은 모드이지만, 연료 차단 기능을 이용하지 않은 경우

g. Mode - 7 (저가속 모드) : 천천히 가속을 하여 연료 차단 기능이 적용되지 않는 경우

Table 3.5 Comparison of modes

Running MODES	Accelerate times (sec)	MAX SPEED (km/h)	Average velocity for 1km driving (km/h)	Fuel cut off times (sec)
Mode-1	28	86	56.3	35
Mode-2	28	86	56.3	0
Mode-3	34	76	51.3	35
Mode-4	34	76	51.3	0
Mode-5	35	70	46.4	41
Mode-6	35	70	46.4	0
Mode-7	66	41	26	0

V. 結果 및 分析

5.1 계산 결과

5.1.1 주행 모드 - 1

다음은 빠르게 가속(급가속)하는 주행 모드 예로써, Fig. 5.1과 같이 주행한다고 가정한다.

총 주행시간은 63초이고, 언덕 주행시 속도와 그때의 시간은 각각 61.5km/h, 9초이다. 또한, 정상에서의 속도 및 시간은 80km/h, 28초이고, 최고 속도는 86km/h이다. 내리막 운행시는 연료 차단 (fuel cut off) 기능을 사용하고, 정지시에는 급정거가 예상되므로 기어를 중립하고 정지한다고 가정한다.

Fig. 5.2와 Fig. 5.3은 이 모드로 운행시의 RPM 및 토크 변화를 나타낸다.

Fig. 5.2에서와 같이 급격한 RPM 변화로 변속 시점을 알 수 있고, 초기에 빠른 가속으로 인하여 회전수가 급격하게 높아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 5.3에서는 차속을 빠르게 하기 위해 급가속을 하므로, 운전은 고 토크 영역에서 주행하고 있다는 것을 알 수 있고, 내리막에서는 토크가 0보다 작기 때문에 연료 차단 기능 (fuel cut off)의 활용이 예상된다.

Fig. 5.4는 RPM과 토크의 관계를 나타낸 것이고, Fig. 5.5는 이를 엔진 맵 상에 나타낸 것이다.

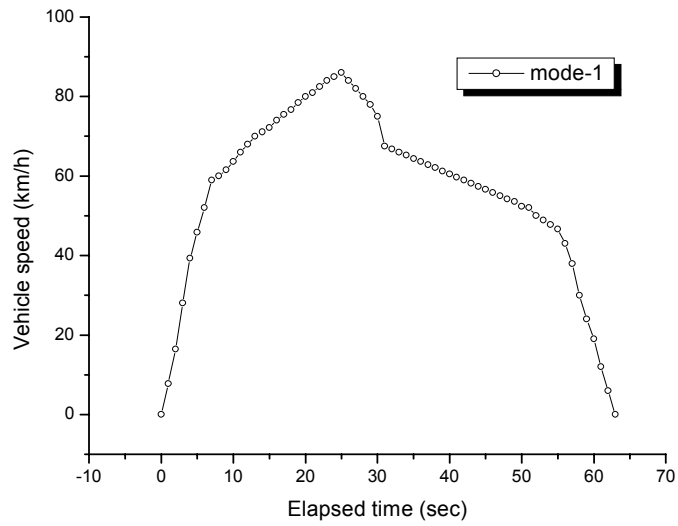


Fig. 5.1 Vehicle speed variation

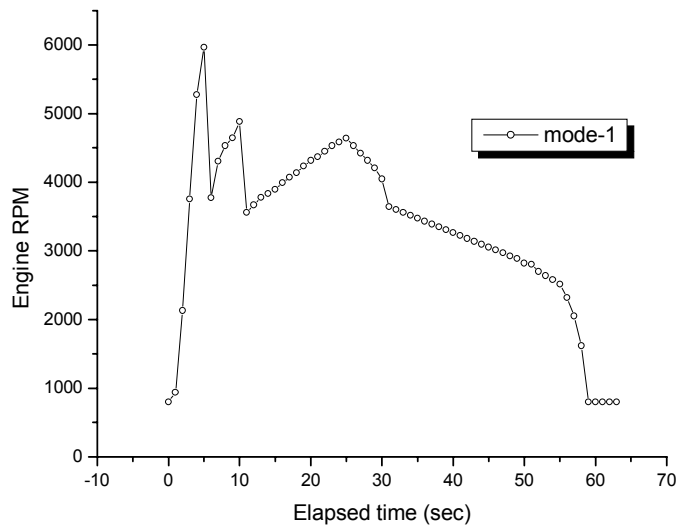


Fig. 5.2 Variation of engine RPM

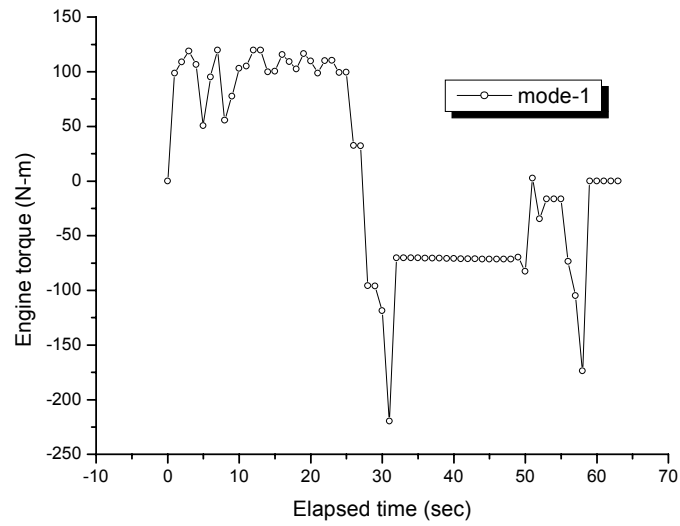


Fig. 5.3 Variation of engine torque

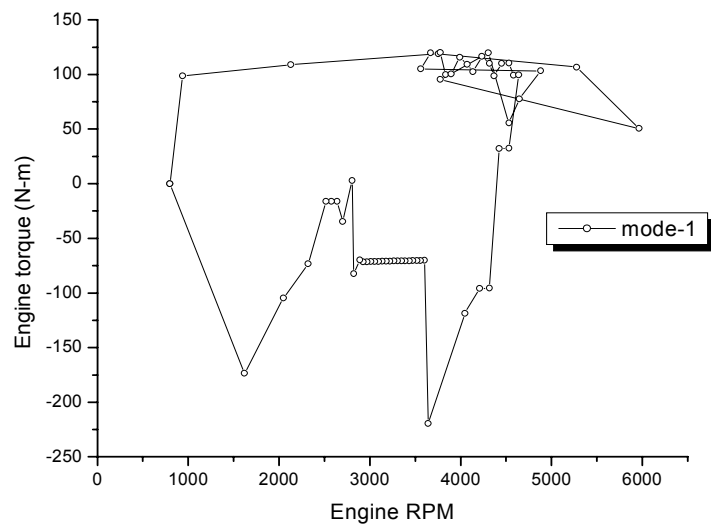


Fig. 5.4 Running condition of torque and RPM domain

Fig. 5.5에서와 같이 초기에 빠른 가속 때문에 고 토크 및 고 회전수 영역에서 운전됨을 확인할 수 있다. 또한, 엔진 맵에서 벗어난 부분은 토크가 0보다 작은 부분이므로 연료 차단 기능이 활용되고 있다는 것으로 나타난다.

이러한 모드로 운전하는 운전자는 대부분의 급한 성격의 운전자로 급한 가속을 하기 때문에 연료 소모량이 많은 영역에서 운전하게 된다.

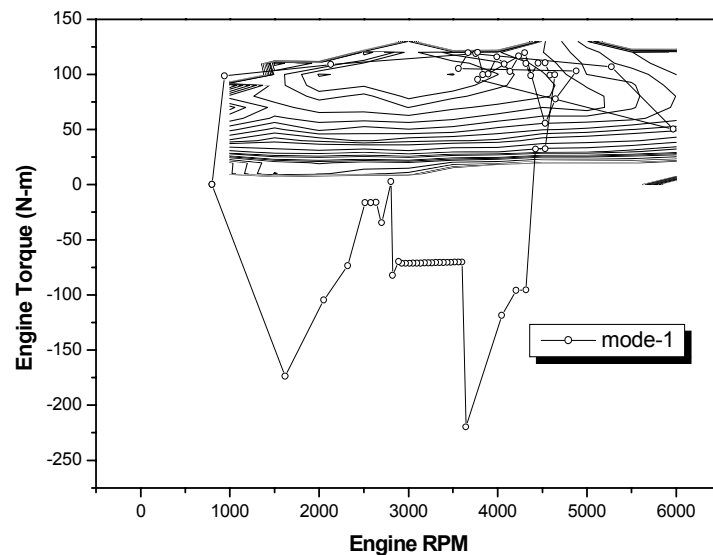


Fig. 5.5 Running condition on torque and RPM domain

Fig. 5.6에서 실선이 연료 소모율 (g/s)을 나타내며, 초기에 급 출발을 하므로 필요 이상의 연료가 소모되는 것을 보이고, 고 토크 및 고 회전수 영역에서 운전하기 때문에 연료 소모가 많음을 알 수 있다.

또한, 연료 차단이 2000rpm에서부터 일어나는데, 필요 이상으로 회전수를 높게 함으로써, 연료 소모량이 회전수를 높인 만큼의 연료가 더 소모된다는 것도 알 수 있다.

이 모드에서의 연료 소모량은 70.84g 이다.

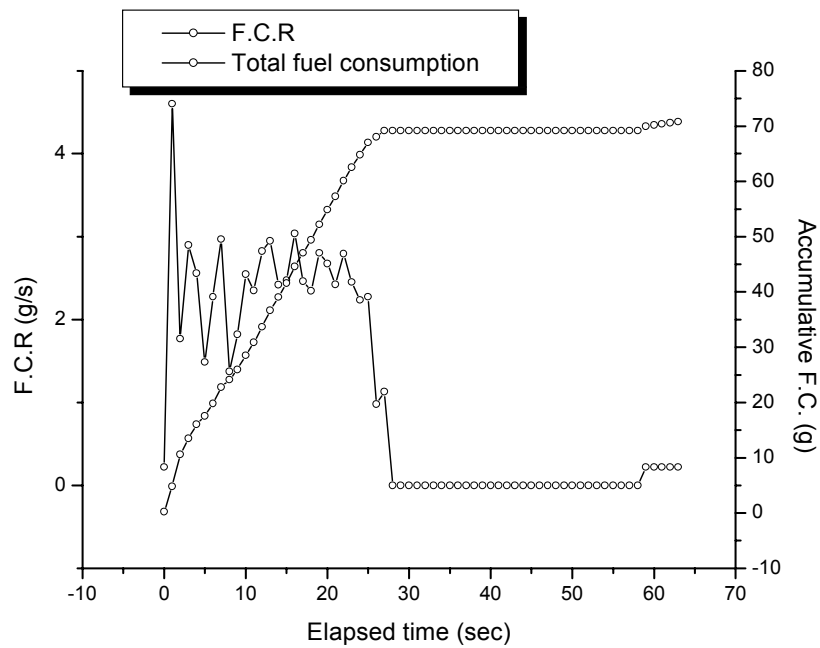


Fig. 5.6 Variation of F. C. and accumulative consumption

5.1.2 주행 모드 - 2

이번에 가정할 모드는 Mode-1과 똑같은 변속 시기에다가 똑같은 속도를 가지고 주행하는데, 내리막 운행시 연료 차단 기능을 사용하지 않고 주행한다고 가정한 모드이다.

Fig. 5.7과 Fig 5.8은 주행시의 RPM과 토크를 나타내는 것인데, Fig. 5.7에서 보면 내리막 운행시 연료 차단 기능을 사용하지 않도록 하기 위해 기어를 중립시키므로, 공회전 상태임을 알 수 있다.

또한, Fig. 5.8은 토크의 변화량을 나타내는데, 연료 차단 구간이 일어나는 지점인 토크가 0 보다 작을때의 구간이 거의 없음을 확인할 수 있다.

Fig. 5.9는 RPM과 토크의 관계를 나타낸 것을 엔진 맵상에 나타낸 것이다.

연료 차단 기능이 일어나는 구간인 엔진 맵 밖에서의 주행이 거의 없는 것을 보이고 있고, 이는 연료 소모량이 mode-1보다 많아짐을 예측 할 수 있다.

Fig. 5.10은 이 모드로 주행시의 연료 소모량과 연료 소모율을 나타내는데, 이 모드로 주행시 76g이 소모됨을 알 수 있었다.

이는 같은 조건하에서의 주행시 연료 차단 효과를 이용한 것과 이용하지 않은 경우와의 연료 소모량의 차이는 5.16g으로 7%의 연료 소모량이 연료 차단 기능을 이용시 절약됨을 알 수 있다.

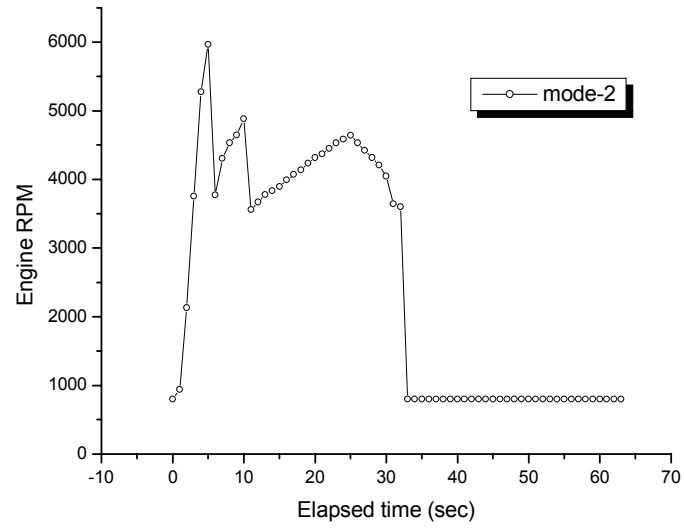


Fig. 5.7 Variation of engine RPM

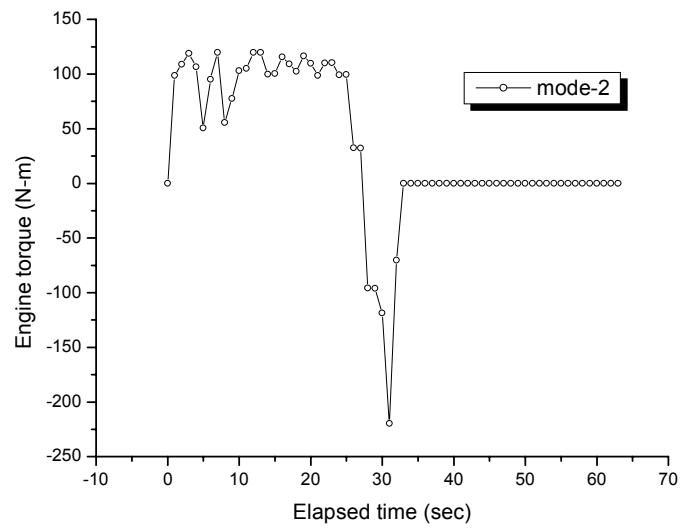


Fig. 5.8 Variation of engine torque

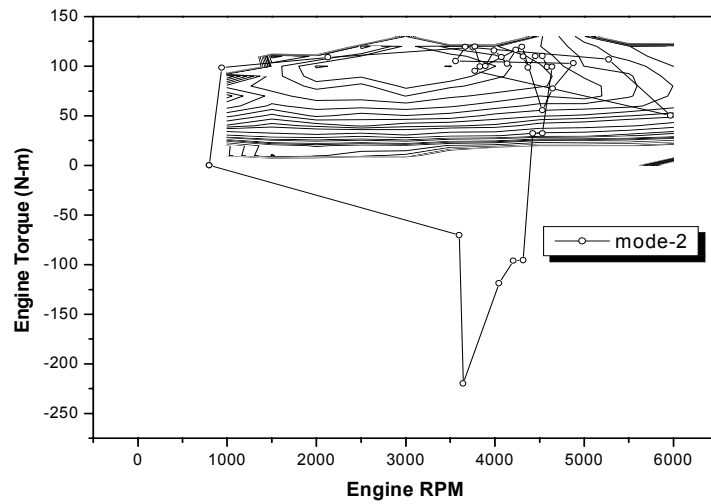


Fig. 5.9 Running condition on torque and RPM domain

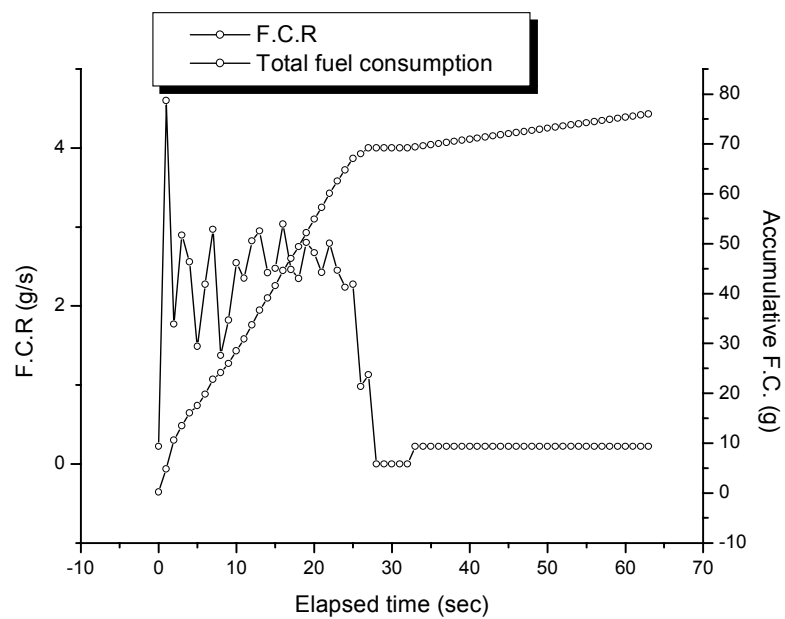


Fig. 5.10 Variation of F. C. and accumulative consumption

5.1.3 주행 모드 - 3

이 주행 모드는 85%정도 가속, 연료 차단 기능을 이용하는 모드로써, Fig. 5.11과 같이 가정한다.

총 주행 시간은 69초이며, 언덕 주행시의 속도는 52km/h이며, 정상 도달 시간 및 속도는 34초, 76km/h이다.

이 모드 또한 연료 차단 (fuel cut off) 기능을 사용하여 내리막을 운행하였으며, 마지막에 기어를 중립시키면서 정지시킨 예이다.

이 모드로 주행시의 RPM과 토크의 변화를 나타내는 것이 Fig. 5.12와 Fig. 5.13이고, Fig. 5.12에서는 변속한 시점을 RPM이 급격하게 변하는 지점으로 보면 알 수 있다.

또한, Fig. 5.13으로 토크 변화를 알 수 있는데, 초기에는 가속을 함으로써, 고 토크로 운행함과 동시에 언덕 주행에 따른 RPM의 상승과 토크도 상승함을 알 수 있다.

내리막 운행과 정지시에는 토크가 0보다 작은 부분으로 연료 차단 (fuel cut off) 기능이 적용됨을 예측할 수 있다.

Fig 5.14는 RPM과 토크의 관계를 나타내고 있으며, Fig. 5.15는 이를 엔진 맵 상에 나타낸 것이다.

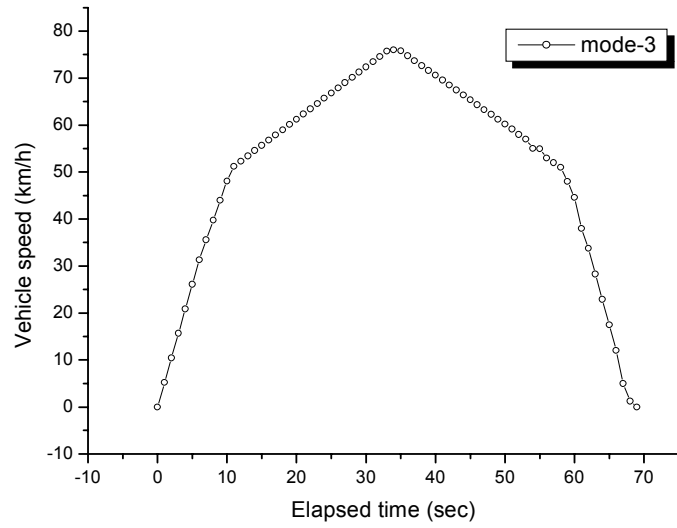


Fig. 5.11 Vehicle speed variation

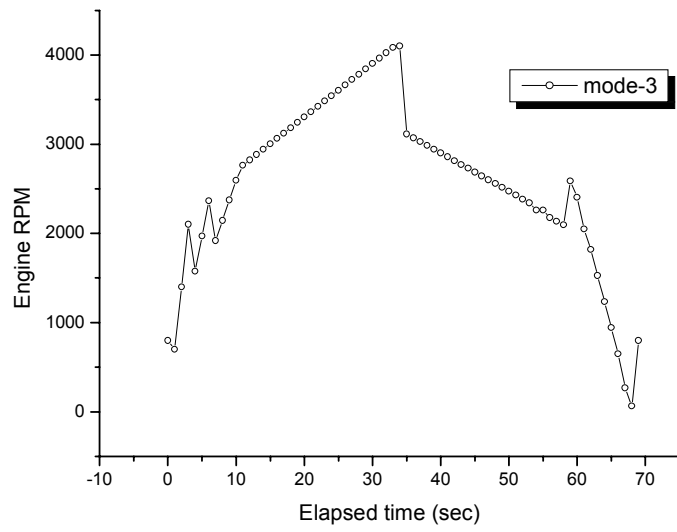


Fig. 5.12 Variation of engine RPM

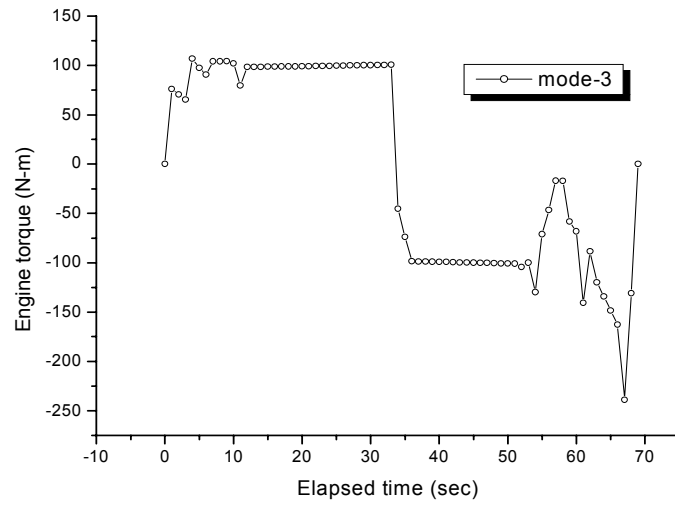


Fig. 5.13 Variation of engine torque

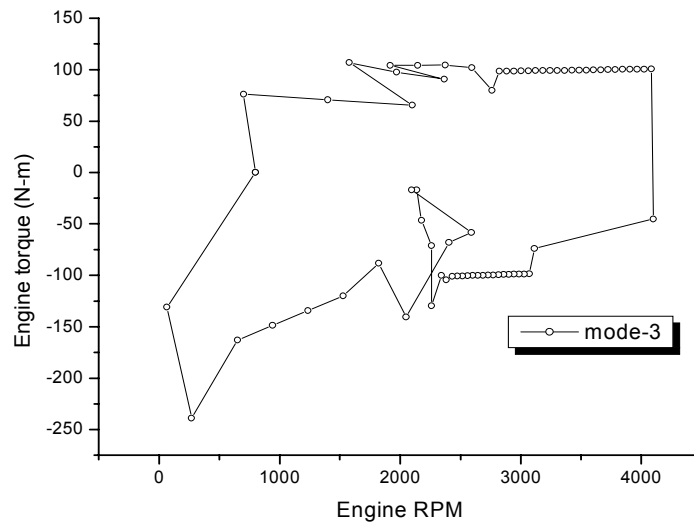


Fig.5.14 Running condition of torque and RPM domain

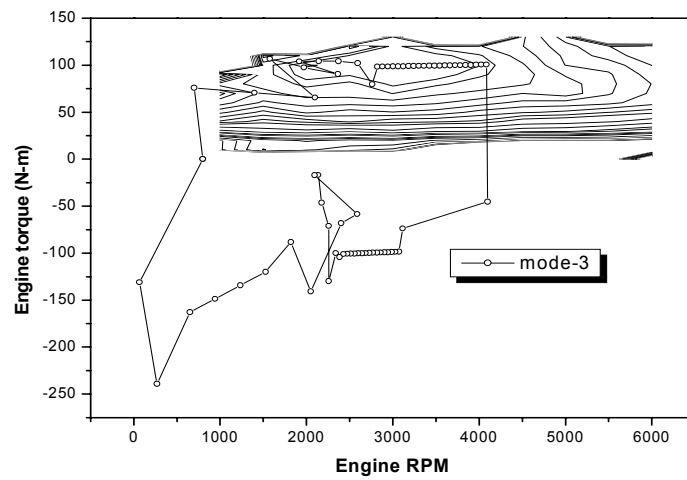


Fig. 5.15 Running condition on torque and RPM domain

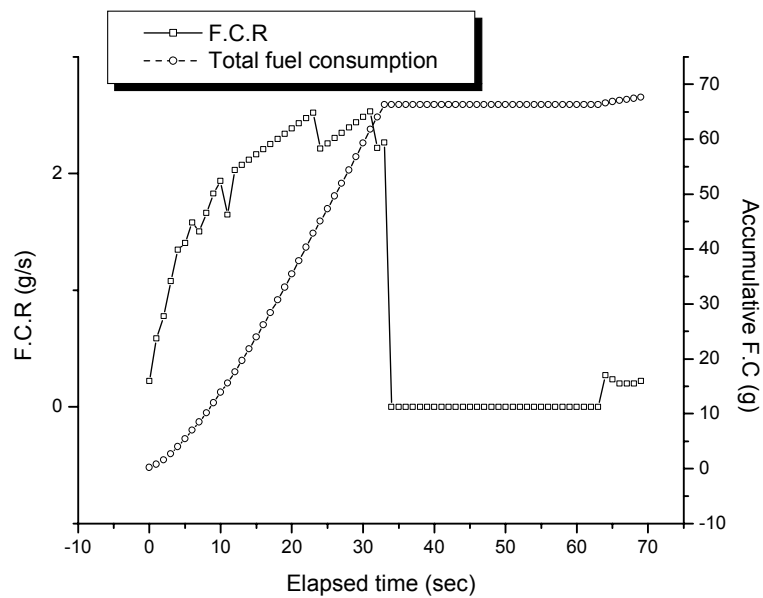


Fig. 5.16 Variation of F. C. and accumulative consumption

Fig. 5.16에서는 실선이 연료 소모율을 나타내고, 점선이 총 소비되는 연료량을 나타낸다.

Mode-3은 Mode-1보다 조금 느리게 가속하기 때문에 Mode-1보다 조금 낮은 토크 영역에서 주행하게 되어서 연료 소모량이 낮은 영역에서 운행을 하므로, Mode-1보다 연료 소모량이 적어짐을 알 수 있다.

이 모드로 주행할 경우, 연료 소모량은 67.66g 이다.

5.1.4 주행 모드 - 4

Mode-4는 Mode-3과 같은 조건하에서 주행을 하는 모드이지만, Mode-2와 같이 내리막 주행시 연료 차단 기능을 이용하지 않은 경우이다.

Fig. 5.17은 이 모드로 주행시의 RPM을 나타내며, Fig. 5.18은 토크를 나타낸다.

Fig. 5.18을 보면, 연료 차단 기능을 사용하지 않음으로써, 연료 차단 구간인 토크가 0 보다 작은 시점이 거의 없음을 알 수 있고, 이는 연료 소모량이 Mode-3보다 많아짐이 예상된다.

Fig. 5.19는 RPM과 토크의 관계를 엔진 맵 상에 나타낸 것인데, 연료 소모가 일어나지 않는 엔진 맵 영역 밖에서의 주행이 일어나지 않음을 알 수 있다.

Fig. 5.20은 연료 소모량을 나타내며, 연료 소모량이 74.03g으로 나타났으며, 이는 연료 차단 기능을 이용한 경우와의 차이는 6.37g인 9%의 더 많은 연료 소모가 일어남을 알 수 있다.

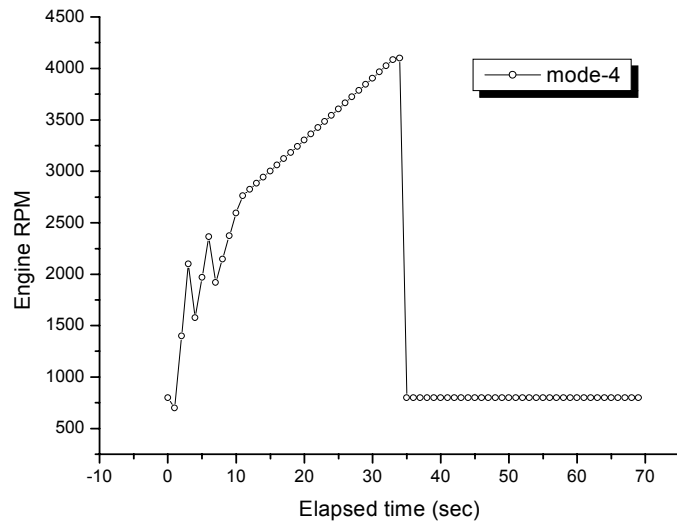


Fig. 5.17 Variation of engine RPM

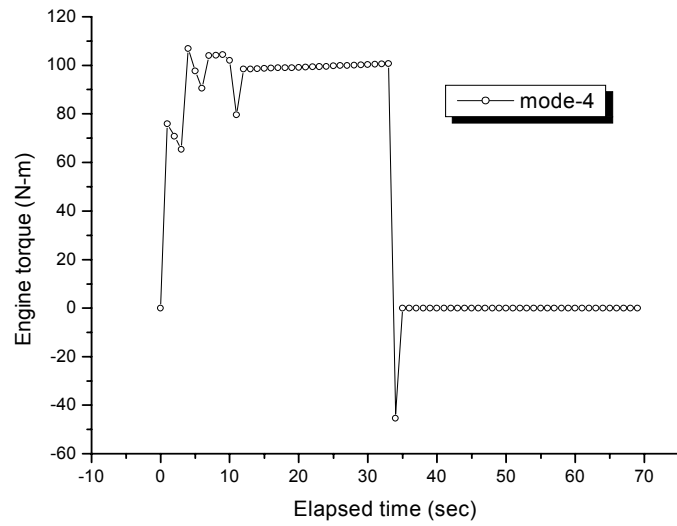


Fig. 5.18 Variation of engine torque

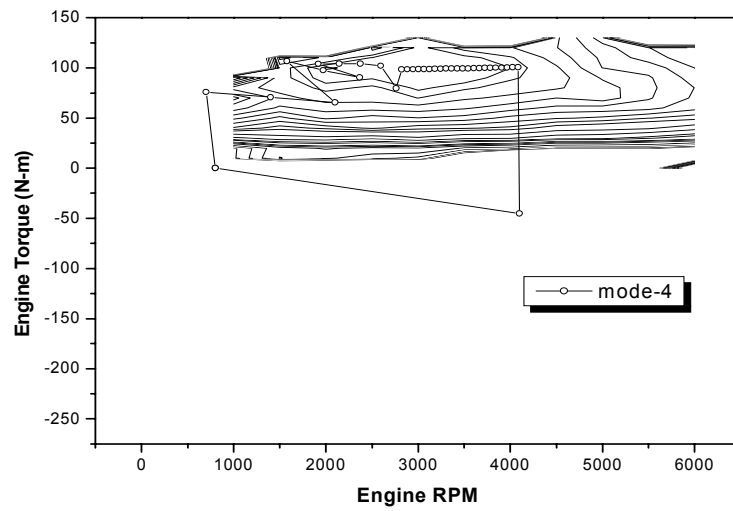


Fig. 5.19 Running condition on torque and RPM domain

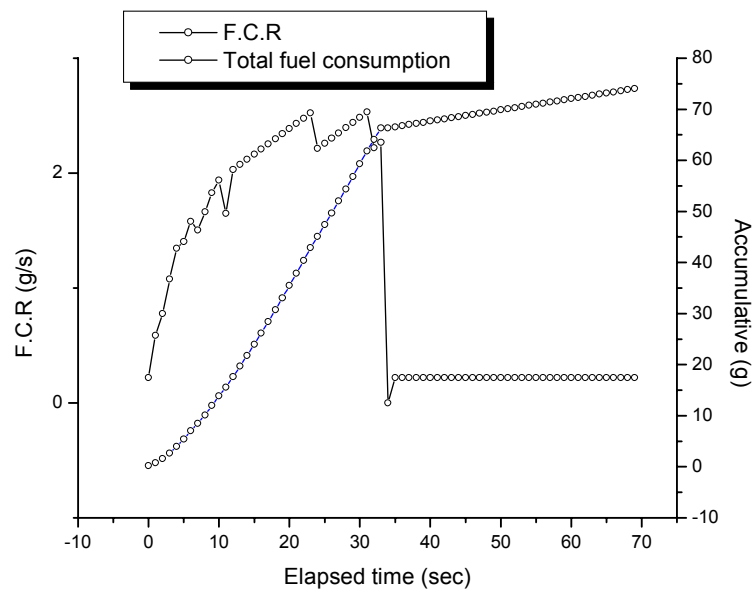


Fig. 5.20 Variation of F. C. and accumulative consumption

5.1.5 주행 모드 - 5

Fig. 5.21은 80%정도로 가속을 하는 경우이고, 연료 차단을 이용하는 보통 가속 운전시의 속도와 시간을 보여준다.

Fig. 5.21에서와 같이 운행 시간은 76초이고, 언덕 주행시의 속도는 47km/h로 언덕 정상 도달 시간은 35초이며, 이 때의 속도는 69km/h 이다.

내리막 시작부터 정지시 까지는 연료 차단 (fuel cut off) 기능을 활용하여 연료소모를 충분히 줄이는 모드이다.

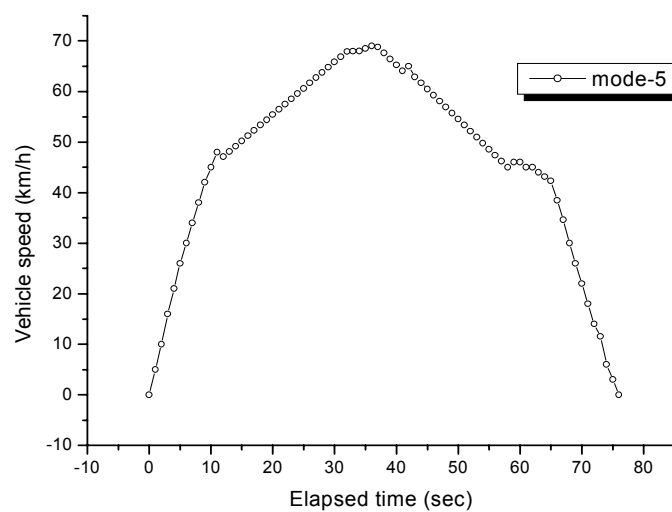


Fig. 5.21 Vehicle speed variation

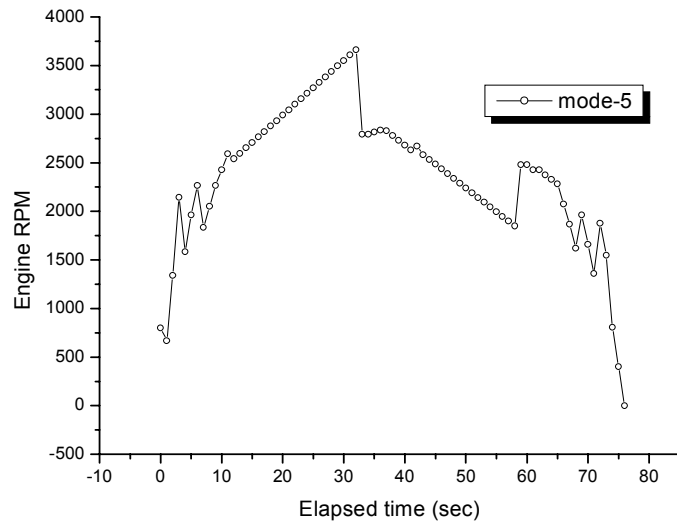


Fig. 5.22 Variation of engine RPM

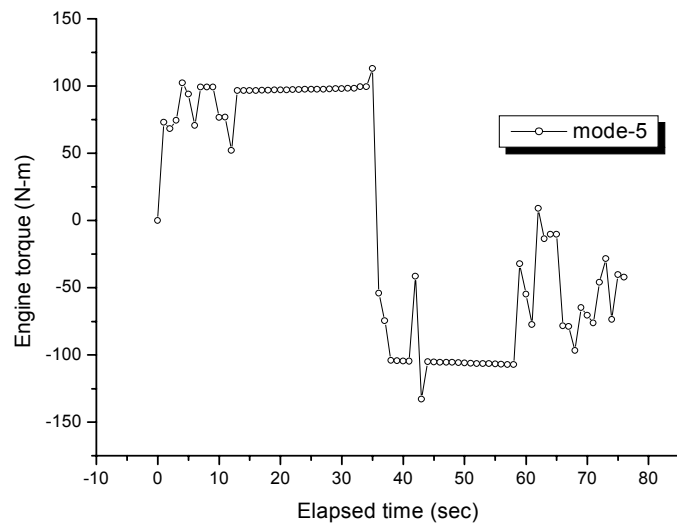


Fig. 5.23 Variation of engine torque

Fig. 5.22와 Fig. 5.23은 Mode-5로 운행시의 엔진 RPM과 엔진 토크를 나타내는데, Fig. 5.22에서 보면 변속이 일어나는 시점에서 RPM이 변하는 것을 확인하게 알 수 있다.

또한, 35초 이후인 내리막 시점에서는 기어가 들어간 상태에서 타력으로 운행하기 때문에 서서히 RPM이 떨어진다는 것을 보여준다.

토크 변화를 나타내는 Fig. 5.23에서는 오르막 주행시에는 고 토크 영역에서 운전하다가 내리막 시점에서부터는 연료 차단 (fuel cut off) 기능을 사용하여 토크가 0보다 작으므로, 연료를 소모하지 않는다는 것을 알 수 있다.

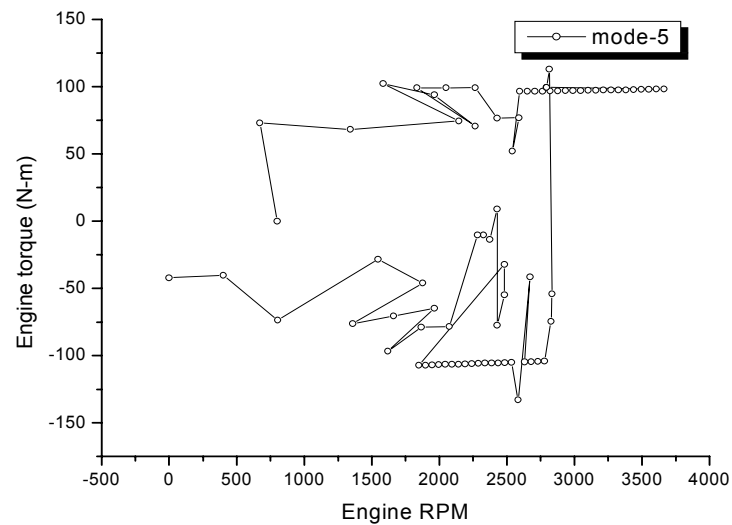


Fig. 5.24 Running condition of torque and RPM domain

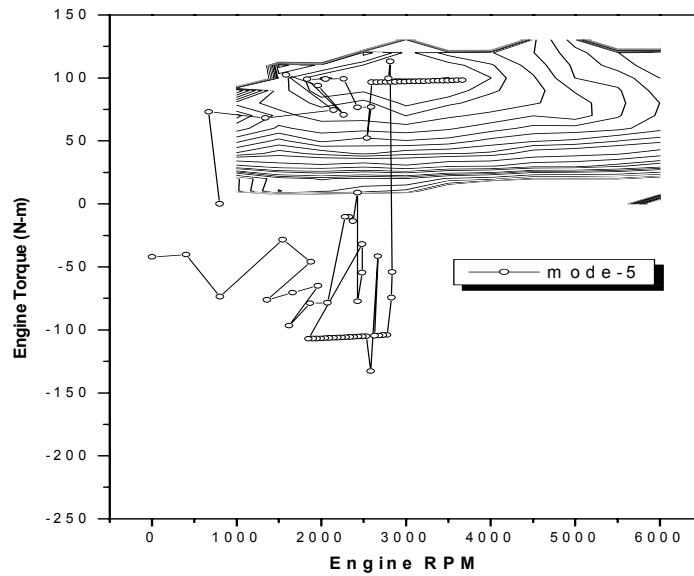


Fig. 5.25 Running condition on torque and RPM domain

Fig. 5.24는 RPM 변화에 따른 토크의 변화를 나타낸 것이고, Fig. 5.25는 이를 엔진 맵 상에 나타낸 것이다.

Fig. 5.25를 보면 초기에 적절하게 가속을 함으로써, 연료 소모율이 좋은 영역에서 운행하는 것을 알 수 있고, 엔진 맵 영역이 아닌 곳, 즉, 연료 차단 (fuel cut off) 기능을 사용하여 연료 소모가 일어나지 않는 영역에서 운행하는 것을 알 수 있다.

Fig. 5.26은 실선은 연료 소모율 (g/s)을 나타낸다.

이 모드는 오르막 가속시에도 적절하게 가속하고 내리막에서도 fuel cut off 기능을 충분히 이용하는 주행 방식으로 연료 소모량은 66.05g이다.

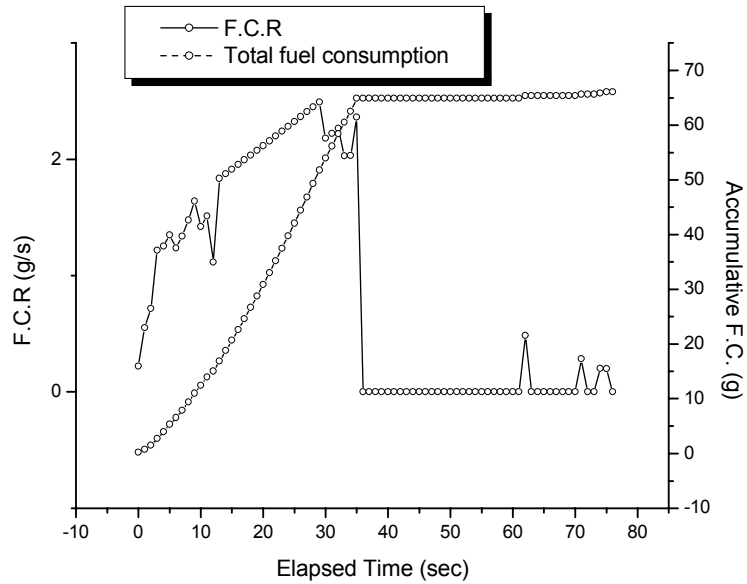


Fig. 5.26 Variation of F.C and accumulative consumption

5.1.6 주행 모드 - 6

이 주행 모드는 Mode-5와 같은 주행 방식이지만, 대부분의 운전자가 운전하는 방식인 내리막 운행시 연료 차단 (fuel cut off) 기능을 사용하지 않고 주행하는 모드이다.

이러한 주행모드로 주행한다면 Mode-5와의 연료 소모량의 차이가 어느 정도 인지 알아보고자 한다.

Fig. 5.27은 RPM의 변화를 나타내는 것인데, 내리막 주행 즉, 35초 이후의 주행에서는 공회전인 800rpm에서 운전됨을 알 수 있다.

Fig. 5.28은 이 모드에서의 토크 변화를 나타내는데, 기어를 중립으로 하고

운전하기 때문에 연료 차단 효과가 나타나는 구간 ($T < 0$)이 없음을 알 수 있다.

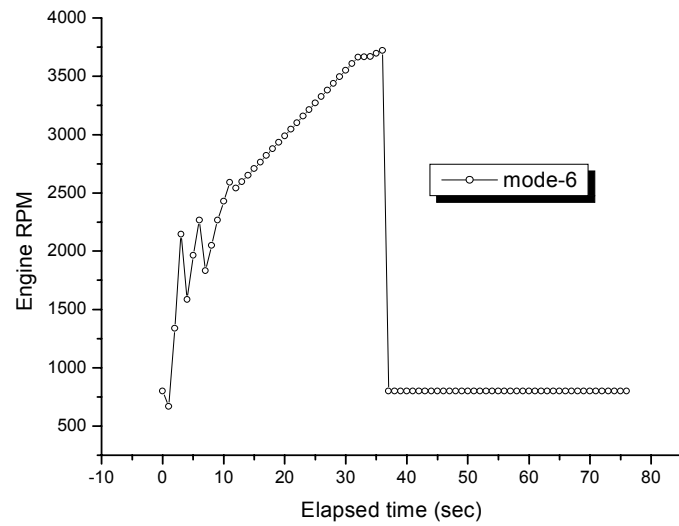


Fig. 5.27 Variation of engine RPM

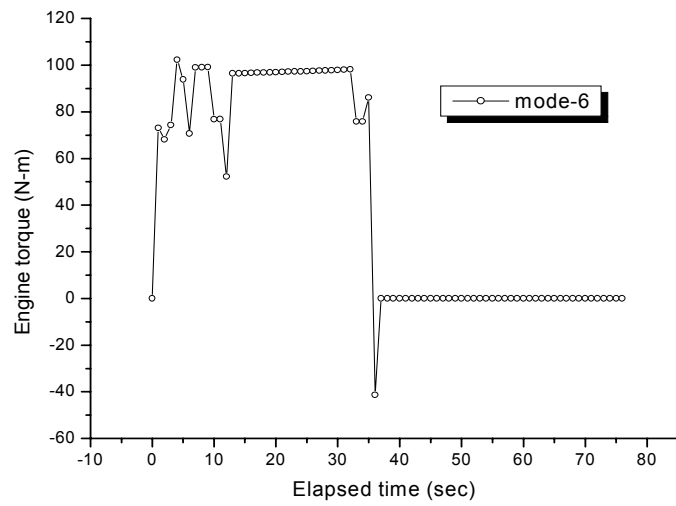


Fig. 5.28 Variation of engine torque

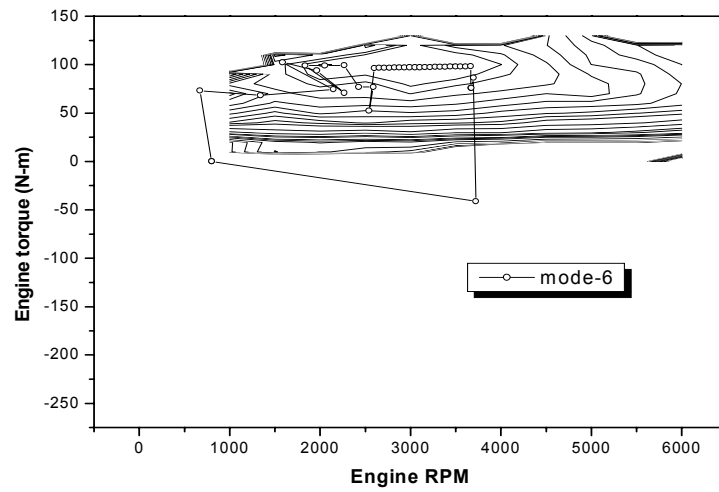


Fig. 5.29 Running condition on torque and RPM domain

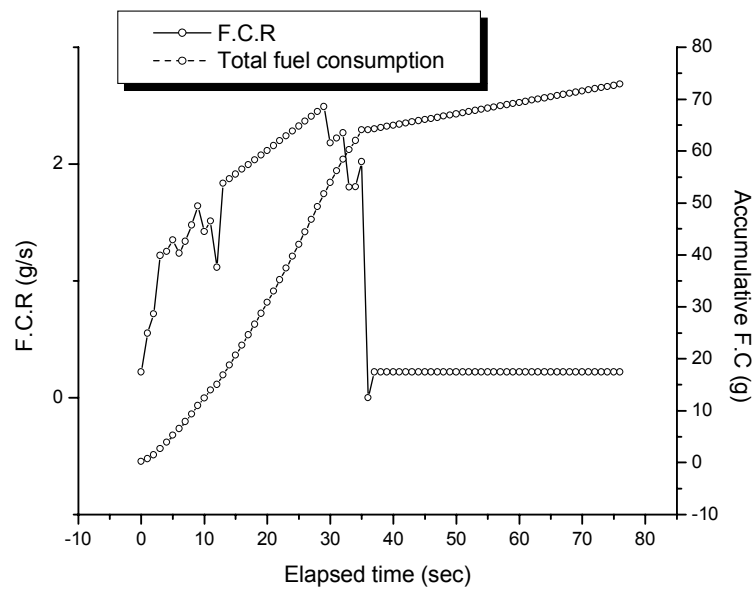


Fig. 5.30 Variation of F. C. and accumulative consumption

Fig. 5.29는 RPM과 토크의 관계를 엔진 맵상에 나타낸 것이다.

Fig. 5.29에서 보는 바와 같이 초기의 가속시에는 연료 소모율이 좋은 영역에서 운행하지만, 연료 차단 효과가 없음을 알 수 있고, 이에 연료 소모량도 많아짐을 예측할 수 있다.

Fig. 5.30은 실선을 연료 소모율을 나타내고, 점선부분은 연료 소모율의 적분치이다. 총 연료 소모량은 72.88g 으로 Mode-1 보다도 6.83g 인 10%의 연료 소모가 더 많다는 것을 알 수 있었다.

5.1.7 주행 모드 - 7

이 주행 모드는 천천히 가속하고 천천히 감속하는 경우인데, 이러한 모드로 주행시 연료 차단 (fuel cut off) 기능을 활용하지 못하고 주행하기 때문에 필요 이상으로 연료 소모가 많고, 또한 느리게 주행하기 때문에 주행 시간도 길어지게 된다.

이러한 모드의 한 예로 Fig. 5.30으로 가정하는데, 총 주행 시간은 138초이고, 언덕 주행시의 시간과 속도는 각각 25초, 28km/h이다.

또한, 정상에 도달 시간 및 속도는 66초, 41km/h 이다.

내리막 주행시는 연료 차단 (fuel cut off) 기능을 살리지 못하므로, 기어를 중립시켜 공회전으로 주행시킨다고 가정한다.

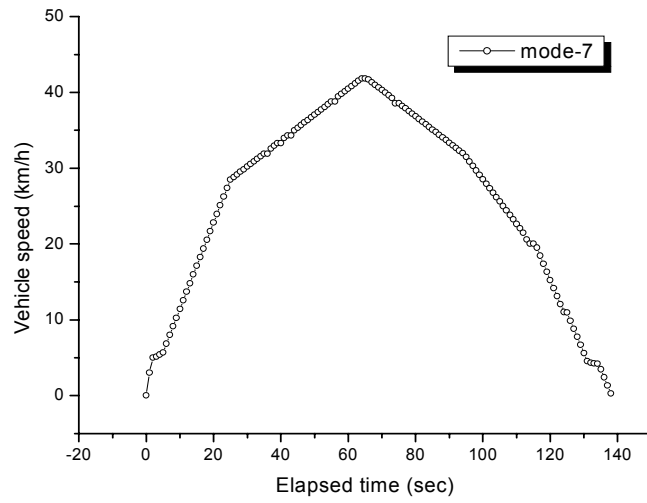


Fig. 5.30 Vehicle speed variation

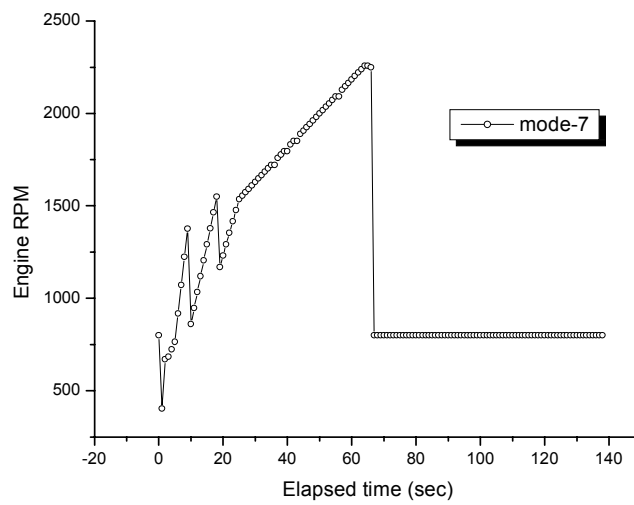


Fig. 5.31 Variation of engine RPM

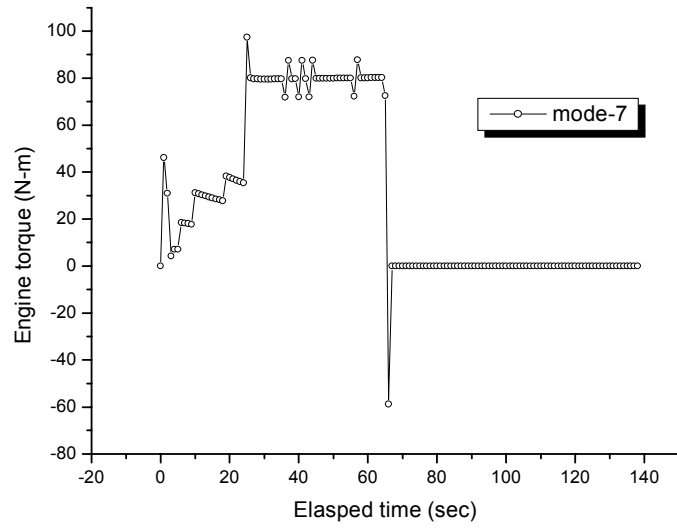


Fig. 5.32 Variation of engine torque

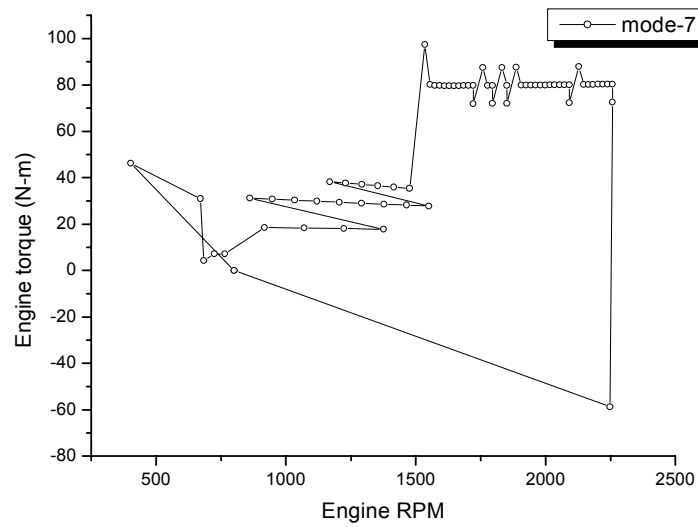


Fig. 5.33 Running condition of torque and RPM domain

Fig. 5.31과 Fig. 5.32는 Mode-6으로 주행시의 RPM 및 토크의 변화를 나타내는 것이다.

Fig. 5.31에서는 저속으로 운전을 하기 때문에, RPM은 낮은 것을 알 수 있고, Fig. 5.32에서는 처음 출발시 저속이기 때문에 초기에는 낮은 토크를 보여주지만, 저가속을 하기 때문에 언덕 주행시에는 급격하게 토크가 높아짐을 알 수 있다.

또한, 내리막 주행시에도 연료 차단 기능을 사용하지 않기 때문에 토크가 0보다 작아지지 않는다는 것을 볼 수 있고, 이는 연료 소모가 극대화 된다는 것을 예상할 수 있다.

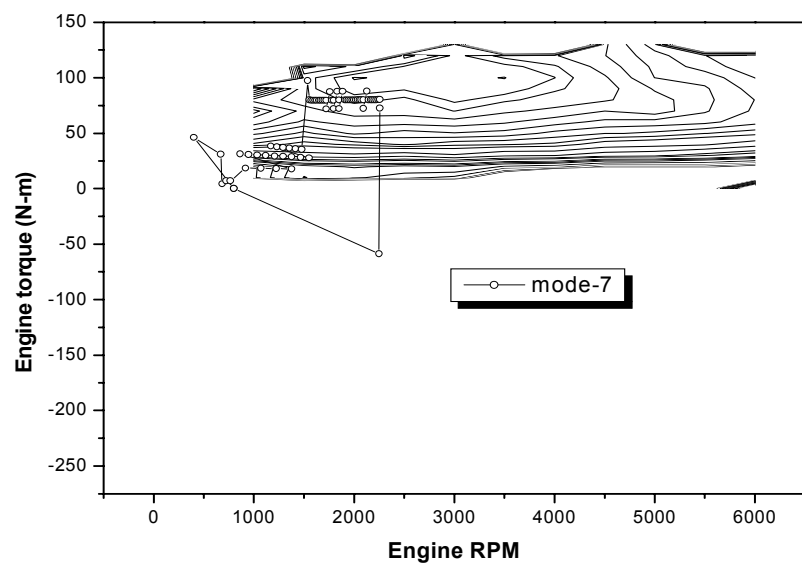


Fig. 5.34 Running condition on torque and RPM domain

Fig. 5.33과 Fig. 5.34는 RPM과 토크와의 관계를 나타낸 것이고, 이를 엔진 맵상에 적용한 것이다.

이 모드는 출발 시 가속할 때 저 가속을 하기 때문에 실제 가는 거리보다 연료가 효율성이 없게 활용되며, 내리막 운전시에도 연료 차단 기능을 활용하지 못하기 때문에 토크가 작은 구간에서도 연속적으로 연료가 공급되어 많은 연료를 소비한다.

Fig. 5.35에서는 실선이 연료 소모율을 나타내고, 점선 부분이 연료 소모율의 적분치이다.

이 모드에서의 연료 소모량은 71.95g 이다.

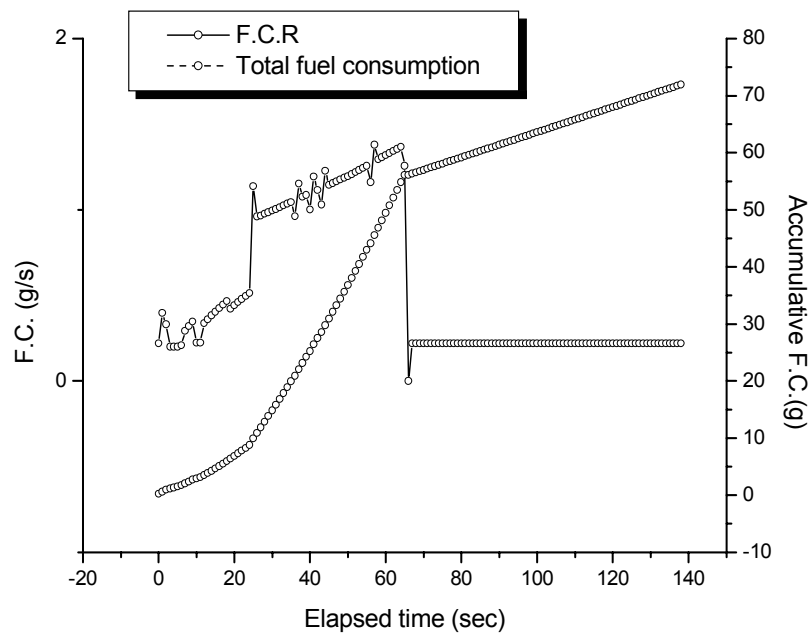


Fig. 5.35 Variation of F. C. and accumulation consumption

5.2 고 찰

이상 개별적으로 검토한 각 모드에 대한 연료 소모율 변화를 서로 비교함으로써, 각 모드별 특성과 구배로에서의 최적 운전법을 제시한다.

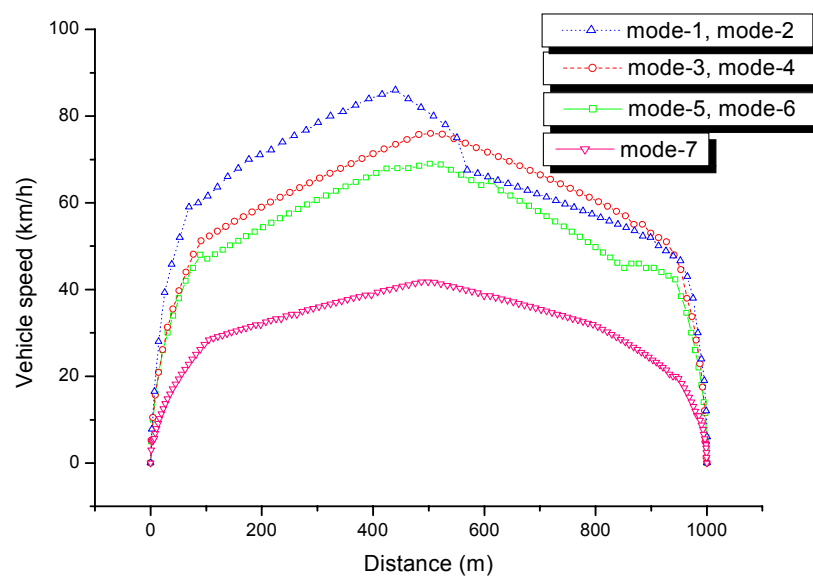


Fig. 5.36 Comparison of vehicle speeds of all modes by vehicle speed

Fig. 5.36은 모드에 따른 연비 특성을 분석하기 위하여 앞에서 계산한 모드 조건을 비교하여 나타낸 것으로 전체 주행 거리 동안의 차량 속도 변화를 보여준다.

각각의 같은 조건하에서 주행할 때 연료 차단 기능을 이용하여 주행한 것과

연료 차단 기능을 이용하지 않고 주행한 것을 비교하면 다음과 같다.

Fig. 5.37은 Mode-1과 Mode-2의 연료 소모량을 비교한 것이고, Fig. 5.38은 Mode-3과 Mode-4를, Fig. 5.39는 Mode-5와 Mode-6을 비교한 것이다.

Fig. 5.40은 연료 차단 기능을 사용한 모드끼리의 연료 소모량을 비교한 것이고, Fig. 5.41은 연료 차단 기능을 활용하지 않고서 주행한 모드끼리의 연료 소모량을 비교한 것이다.

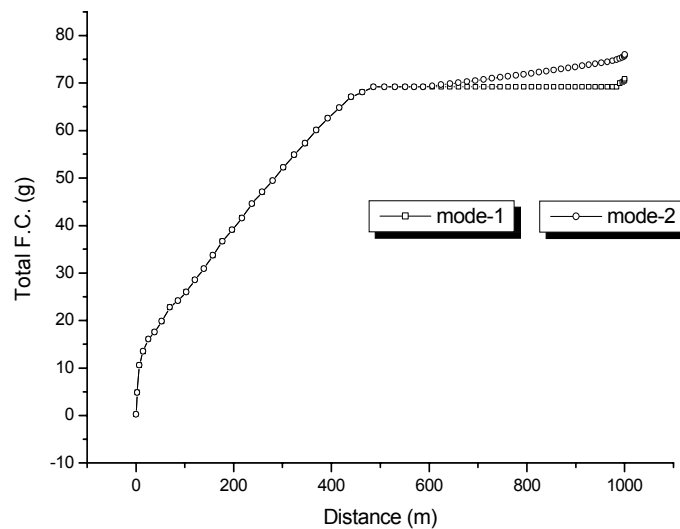


Fig. 5.37 Comparison of mode-1 and mode-2

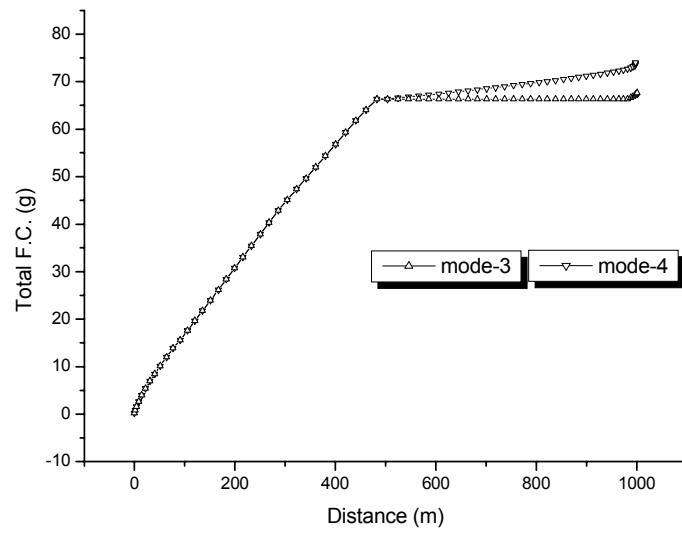


Fig. 5.38 Comparison of mode-3 and mode-4

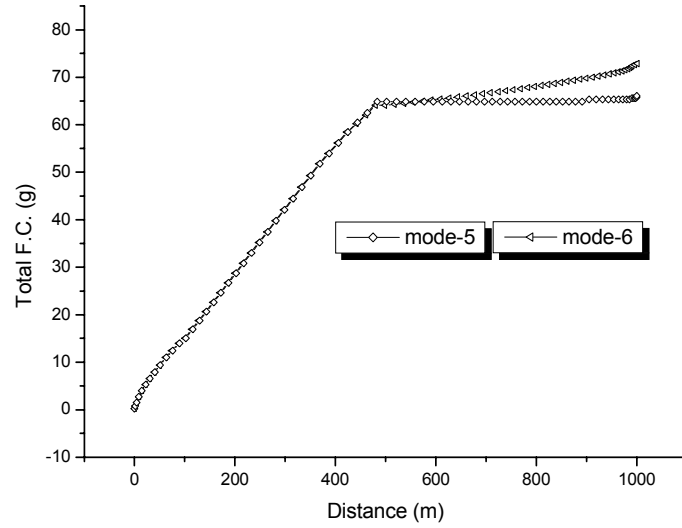


Fig. 5.39 Comparison of mode-5 and mode-6

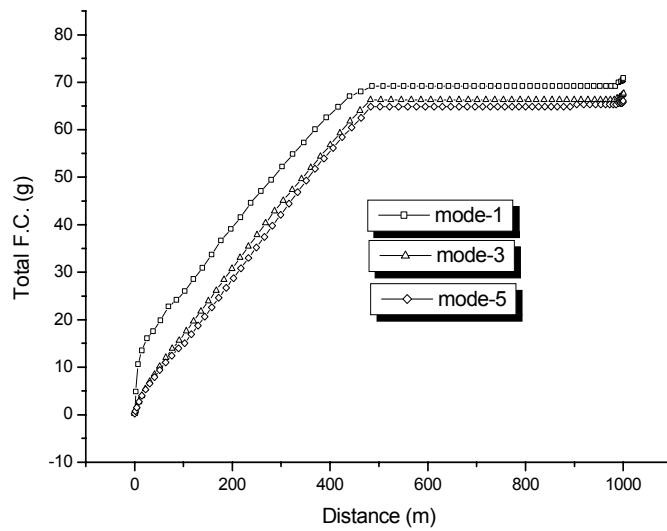


Fig. 5.40 Comparison of fuel cut off used

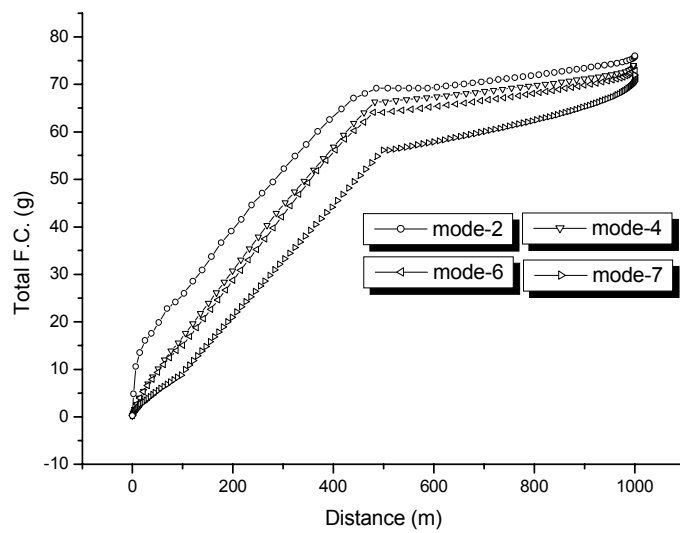


Fig. 5.41 Comparison of fuel cut off not used

Fig. 5.40에서 보면 처음 출발에서부터 구배로의 정상까지의 연료 소모량을 비교하면 Mode-3과 Mode-5 가장 좋은 연료 소모율을 나타내고 있는데, 이는 가속을 적당하게 함으로써, 연료 소모량이 적은 영역에서 운행을 하므로, Mode-1보다 연료 소모가 적게 된다.

Fig. 5.41에서는 연료 차단 기능을 활용하지 않고 주행한 결과인데, 제일 느리게 가속을 하는 Mode-7이 전반적으로 연료 소모량이 적게 나왔는데, 이는 천천히 가속을 하게 되면 부하 변동량이 거의 없어 연료가 적게 소모되며, 대부분 RPM이 낮은 영역에서 운행을 하기 때문에 마찰력도 다른 모드보다 훨씬 적기 때문에 연료가 적게 소모된다고 사료된다.

가장 많이 연료가 소모된 모드는 Mode-2인데, Mode-1과 마찬가지로 처음 출발시 급 출발을 하기 때문에, 초기에 필요 이상으로 연료가 소모가 많고, 주행시에는 고 토크 및 고 RPM 영역에서 운행을 하기 때문에, 마찰력 및 부하 변동등의 영향으로 인하여 연료가 가장 많이 소비하는 모드로 나타났다.

Fig. 5.42는 각 모드의 연료 소모량을 종합하여 나타낸 것이다.

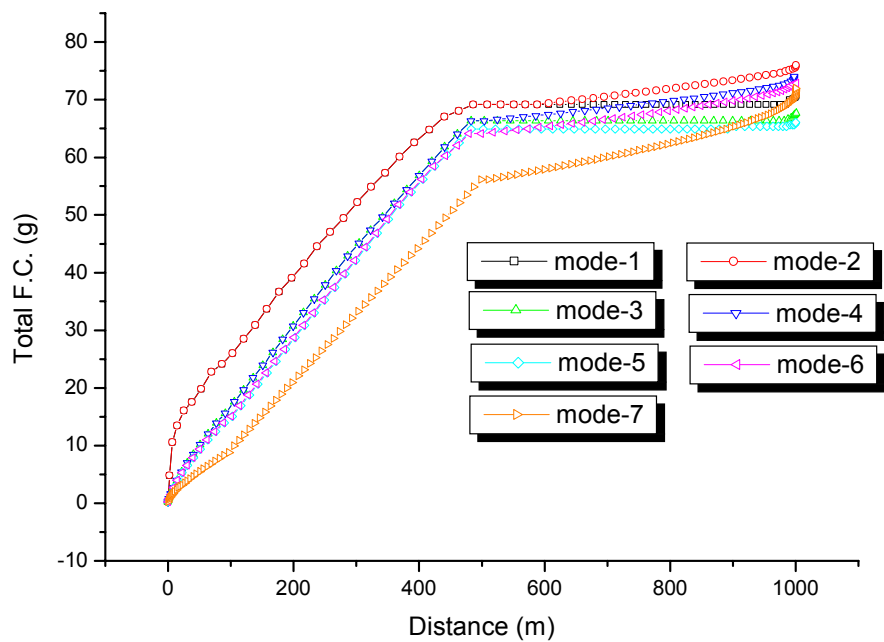


Fig. 5.42 Comparison of a fuel consumption of all modes

Table 5.1 Comparison of total fuel consumption of all mode

	Total driving times (sec)	Fuel cut off times(sec)	Total fuel consumption(g)	비교
Mode - 1	63	35	70.84	7%
Mode - 2	63	0	76	
Mode - 3	69	35	67.66	9%
Mode - 4	69	0	74.03	
Mode - 5	76	41	66.05	10%
Mode - 6	76	0	72.88	
Mode - 7	139	0	71.95	

Table. 5.1은 각각의 모드의 연료 차단 기능을 사용한 시간과 소비된 연료량 및 같은 조건으로 주행한 모드에서 연료 차단 기능을 활용한 모드와 연료 차단 기능을 활용하지 않은 모드와의 연료량을 비교한 것이다.

연료 차단 기능을 활용하여 주행을 하는 것과 그렇지 않은 것과의 차이는 빠른 가속을 하는 쪽의 차이가 가장 적게 나타났다.

이러한 이유는 빠른 가속을 하게 되면, 총 주행 시간이 적어지고 또한 연료 차단을 이용하지 않은 시간도 느리게 가속을 하는 것보다 적기 때문에 연료 소모량의 차이가 다른 모드보다는 차이가 적게 나온다고 생각된다.

Table 5.2는 각 모드의 구간별 연료 소모량을 비교한 것이다.

Table 5.2 Fuel consumption of section

구간 Mode	0-100(m)	100-500(m)	500-900(m)	900-1000 (m)	Total(g)
Mode-1	25.99	43.19	0	1.66	70.84
Mode-2	25.99	43.19	4.18	2.64	76
Mode-3	17.6	48.74	0	1.32	67.66
Mode-4	17.6	48.74	4.84	2.86	74.03
Mode-5	15.06	49.82	0	1.17	66.05
Mode-6	15.06	49.82	4.92	3.08	72.88
Mode-7	9.9	46.21	9.24	6.6	71.95

Talbe 5.2에서와 보는바와 같이 출발시부터 평지 구간인 100m 까지는 연료 소모량이 제일 적은 Mode-7처럼 하고, 언덕길인 100-500m 구간에서의 주행은 Mode-1과 같이 가속을 하고, 정지시에는 Mode-3처럼 연료 차단 효과를 극대화시키는 주행 방법이 가장 효율이 좋은 주행 방법이라 하겠다. 그렇지만, 처음 가속시 Mode-7처럼 가속을 하게 되면 언덕길 주행시 Mode-1처럼 주행을 하게 할려고 한다면, 엔진에 무리가 가는 정도의 고 RPM 영역과 고 토크 영역으로 운전하기 때문에 이로 전환하는데 필요 이상의 연료가 소비됨이 소요되고, Mode-1처럼 가속을 하게 되면 급가속으로 인하여 연료가 필요이상으로 소모되기 때문에 바람직하지 못한 주행 방법이라고 하겠다.

이에 처음 가속시는 Mode-1과 Mode-7의 중간인 Mode-3이나 Mode-5처럼 가속을 하는 것이 가장 바람직하다고 생각된다.

내리막길 운행시에는 연료 차단 효과를 최대한 활용을 하고 필요 이상으로 가속을 하지 않음으로써 연료 소모를 최소한 하는 것이 좋은 주행법이라 생각된다.

정지시에는 급감속을 삼가고, 기어를 중립으로 두지 않음으로써, 공회전에 대한 연료 소모를 더욱 줄일 수 있다고 생각된다.

또한, 언덕길 및 내리막길에서 연료 차단 효과를 이용하지 않고 주행할 경우에는 되도록 주행 시간을 단축시키는 것이 연료 소모가 적게 소비된다는 것을 확인할 수 있다.

VI. 구배로에서의 최적 운전법

위의 결과를 종합하여 구배로에서의 최적 운전법을 구상하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 가속은 Mode-3 및 Mode-5처럼 80-90% 부하 영역으로 할 것.
- 필요 이상으로 가속은 바람직하지 않으며 언덕의 정상에서 연료 차단 기능을 활용할 수 있는 회전수인 2000rpm 까지 가속 할 것.
- 내리막 운행에서는 연료 차단 기능을 최대한 활용할 것.
- 정지시에도 연료 차단 기능을 이용하도록 기어 변속을 적절히 할 것.

위의 결과를 토대로 최적 주행 모드를 제시하면 Fig. 6.1과 같다.

총 주행 시간은 84초이고, 언덕길 시작 속도는 46km/h이고, 필요 이상의 가속을 줄이기 위해서 정상에서의 속도는 62km/h이고 회전수는 2400RPM 정도로 하였다.

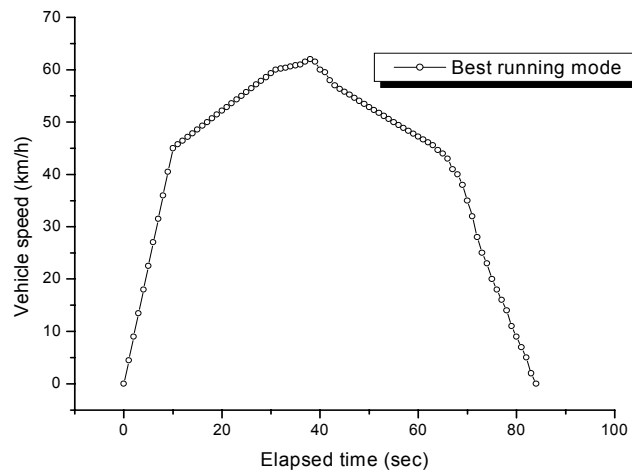


Fig. 6.1 Recommended best running mode

Fig. 6.2, Fig. 6.3, Fig. 6.4, Fig. 6.5는 이 모드에서의 RPM 및 토크 변화를 나타낸다.

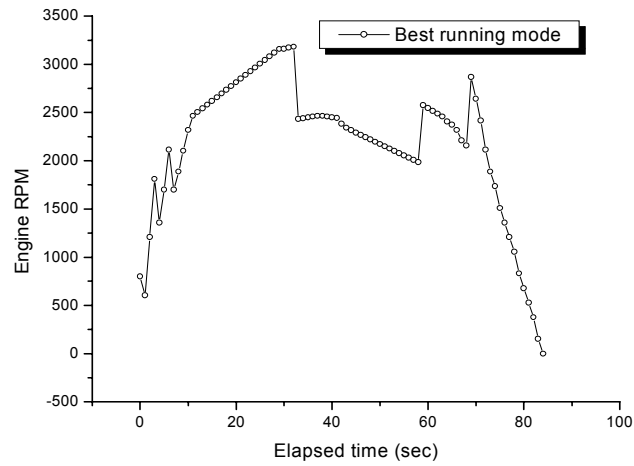


Fig. 6.2 Variation of engine RPM

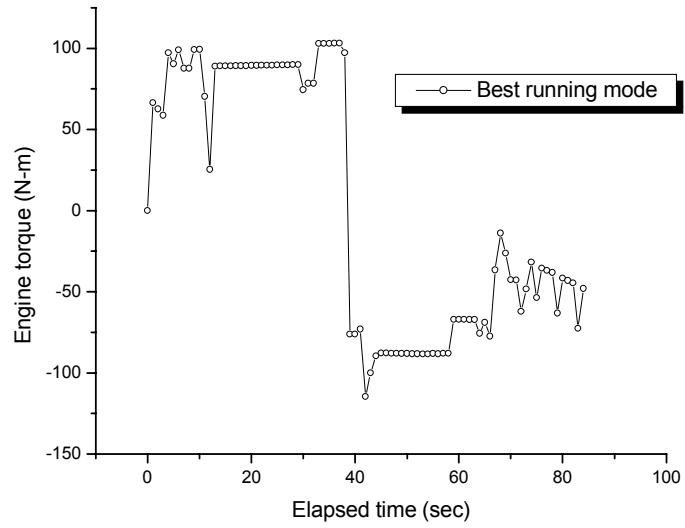


Fig. 6.3 Variation of engine torque

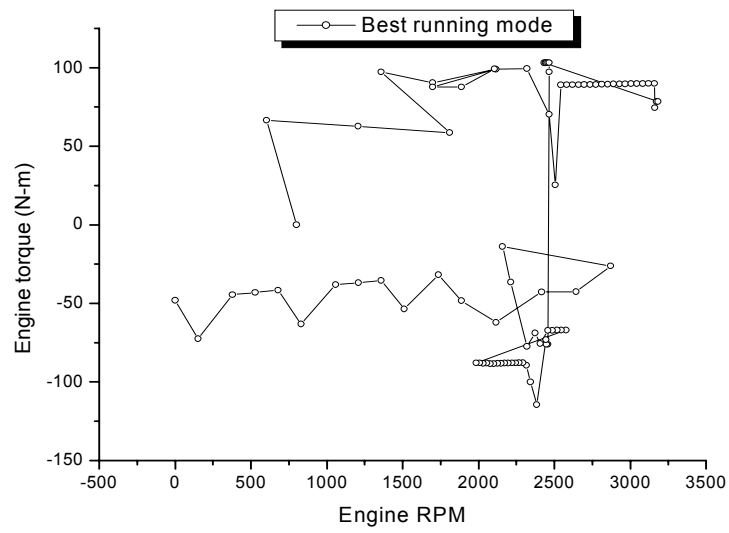


Fig. 6.4 Running condition on torque and RPM domain

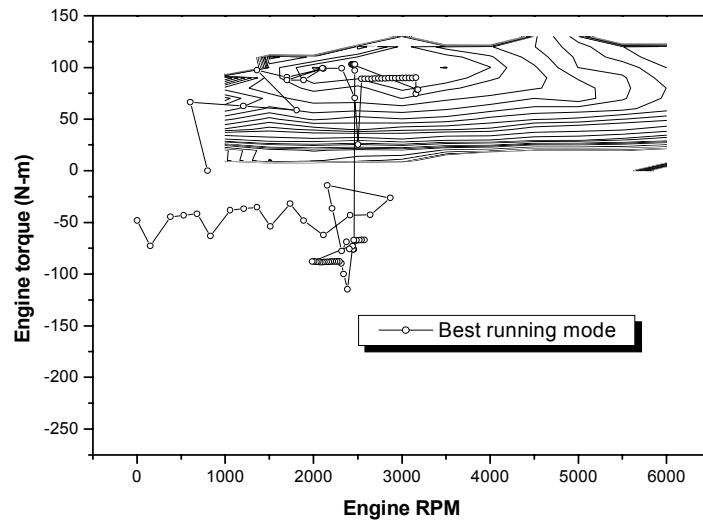


Fig. 6.5 Running condition on torque and RPM domain

Fig. 6.5에서 보는 바와 같이 가속시에는 연료 소모율이 적은 80% 정도의 부하 영역에서 운전되고 있으며, 내리막 및 정지시의 주행에서는 연료 차단 효과를 최대한 활용하고 있다.

Fig. 6.6은 이 모드에서의 연료 소모율 및 연료 소모량을 나타낸다.

Fig. 6.7은 연료 차단 기능을 이용하지 않아 연료 소모가 가장 많은 Mode-2와 저 가속 모드인 Mode-7과의 연료 소모량을 비교해서 보여준다.

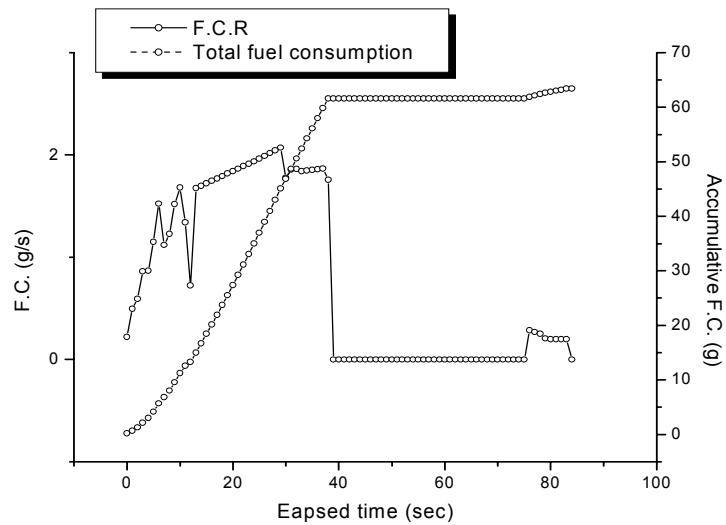


Fig. 6.6 Variation of F. C. and accumulative consumption

Fig. 6.7에서 보면, 처음 가속시에는 Mode-2와 Mode-7 사이의 연료를 소모함으로써, 연료 차단 기능을 활용할 수 있을 정도로 가속을 하고 있음을 알 수 있다.

내리막 운행에서는 연료 차단 효과를 극대화 시켜 이 시점부터는 연료 소모량이 최소화되는 것을 알 수 있다.

이 모드에서의 총 연료 소모량은 63.43g으로 가장 연료 소비가 많은 mode-2보다도 11.57g인 18.2%의 연료 저감 효과가 있다.

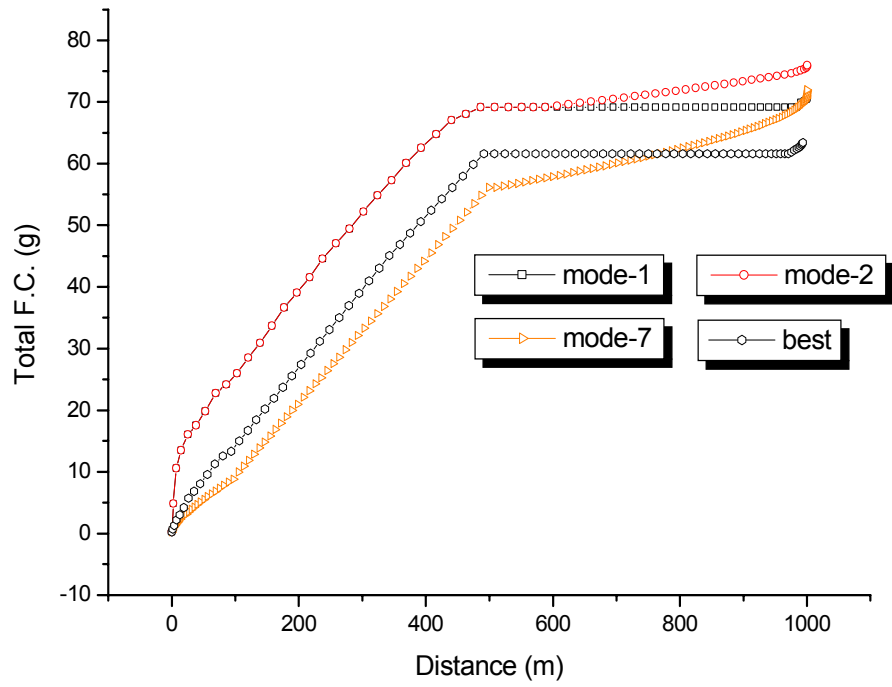


Fig. 6.7 Comparison of Mode-1, Mode-2, Mode-7 and Best by F.C.

VII. 結論

엔진 부하 변동에 따른 실험과 여러 가지 운전 습관에 따른 경사로에서의 연료 소모량을 계산한 본 논문의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 실차 실험을 하지 않고도 연료 소모율 선도를 이용해 다양한 운전 모드에 따른 총 연료 소비량을 계산 할 수 있는 프로그램을 제시하였다.
- (2) 부하 변동에 따른 연료 소모량 및 배기 가스를 측정한 결과 부하 변동이 없는 것이 부하 변동이 큰 조건에 비해 연료 소모량은 30% 감소하였고, CO 211%, HC 273%, NO_x는 101% 감소하였다.
- (3) 여러 가지 운전 모드를 시뮬레이션 한 결과 처음 가속시에는 부하 변동이 심하지 않은 범위(80% 정도로 가속)에서 가속을 하고, 구배로의 주행시에는 연료 차단 기능을 활용할 수 있는 영역까지 충분히 가속하고 연료 차단 기능을 최대한으로 활용하는 최적 운전 모드로 주행시 부하 변동이 심한 급 가속 모드와 비교해 보면, 연료 소모량은 18.2% 감소한 것으로 나타났다.
- (4) 연료 차단 기능을 사용하며 주행하는 것과 연료 차단 기능을 사용하지 않고 주행할 때의 연료 소모량의 차이는 약 10%정도 계산되어졌다.
- (5) 언덕길 주행시 연료 차단 효과를 활용하기 위하여 적절하게 가속을 하면

교통 정체를 개선할 것으로 보이며, 내리막 주행시에 연료 차단을 하여서 타력 운전을 하게 되면 연소실내 연소 폭발이 없는 공기로만 주행하게 되므로 실린더 내부에 열 축적이 사라지고, 윤활유의 윤활 피막이 안정적으로 보호가 되어 실린더와 피스톤 사이에 발생하는 마찰력이 현저히 감소 할 것이라 사료된다.

參 考 文 獻

- [1] 建設 交通部 통계 자료, 2002.
- [2] 강철구, “自動車와 環境”, 자동차 공학 회지 제23권 제5호, 2001.
- [3] John B. Heywood, 「Internal Combustion Engine Fundamentals」
McGraw-Hill, Inc. 1988.
- [4] 김형수, “自動車의 走行모드가 燃料 消費率에 미치는 影響에 관한 計算的
研究”, 한국 해양대학교 공학 석사 학위 논문, 2002.
- [5] 구자예, 노수영, 배충식, 정경석, 황산순 공역, 『內燃機關』, 1997.
- [6] 양형렬, 김세웅, 장병주, 지창권, 홍명석 공저, 『21세기의 自動車工學』
2002.
- [7] 自動車 技術會, 自動車 工學 便覽, 昭和59년
- [8] M. Redsell, G. G. Lucas and N. J. Ashford, "Factors affecting car fuel
consumption" Department of Transport Technology, Loughborough
University of Technology, D00592 © IMechE, 1993.
- [9] 自動車 技術 핸드북 1. 기초 이론편 사단법인 한국자동차 공학회
- [10] 전효중, 최재성, 內燃機關講義, 효성출판사, 1999.
- [11] 류명석, 강중훈, **차량상태의 연비 및 배기유해물 예측을 위한 엔진의 주
요시험 모드 선정**, 한국자동차공학학회논문집 제9권 제4호, 2001.
- [12] 김현석, 김현수, **토크 캠 장착 전식 CVT 차량의 성능 해석**, 한국 자동차
공학회 논문집 제9권 제 4호 pp.131~138, 2001.
- [13] 이 장무, 조성태, 전순일, "하이브리드 자동차의 연비 성능 극대화를 위한
최근 연구동향", 자동차 공학회지 제23권 제5호, 2001.

- [14] Automotive Engineering, 2001.
- [15] 박진호, “도로 경사도와 차량 가속도를 고려한 자동 변속기 변속 알고리즘”, 서울대학교 공학박사 학위 논문, 2000.
- [16] 자동차 부품 연구원 Homepage, www.katech.re.kr, 2002.
- [17] 에너지 관리공단 Homepage, www.kemco.or.kr, 2002.

감사의 글

어언 4년 동안에 저에게 학문 뿐 아니라 살아가는 도리를 깨우치게 해 주시고, 이끌어 주신 박 권하 교수님께 진심으로 고개 숙여 감사 드립니다.

또한, 바쁘신 가운데 저의 논문을 꼼꼼하게 심사해 주신 최 재성, 김 환성 교수님께 진심으로 감사 드립니다.

실험실에서 같이 생활하고 같이 고생해 온 상무, 재혁이, 진희, 석민이에게도 고마운 마음을 전하고, 아직 학부생이지만, 언제나 말 잘 듣는 승우, 늦게 합류한 성윤이, 여러 가지 좋은 얘기를 많이 해주시는 박 홍일 원장님, 항상 바쁘신 송 영호 이사님, 또 한 명의 교수님이신 이 화순 교수님.. 비록 짧은 시간이었지만, 정말 고마웠습니다.

또한, 실험 장비 및 대학원 생활을 가르쳐 주고 졸업한 희성이 형, 진심으로 좋아했던 진정한 친구이자 동기인 인석이와 병두...다시 한번 감사의 말을 전합니다. 저의 논문 주제 아이템을 제공해 주신 김 재박 사장님께도 감사의 말씀을 전하며, 이제 졸업을 앞두고 말로 하지 못했던 고마운 마음을 전합니다.

끝으로 넉넉하지 못한 가정 형편으로 언제나 저를 믿어주시고 뒷바라지 해주신 부모님께 고마운 마음을 전하고, 저를 항상 지켜봐 준 누나와 매형 및 저의 하나뿐인 조카 하림이에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 같은 동갑인데도 불구하고 저를 항상 의지하고 믿어 주고 저 때문에 마음 고생을 많이 했던 기영이에게도 저의 논문을 바칩니다.

2002년 12월 31일

趙 賢 哲